
TL
651
.D4


EX LIBRIS
ALBERT TISSANDIER


THE LIBRARY OF CONGRESS
1800

ÉTUDE

SUR LA

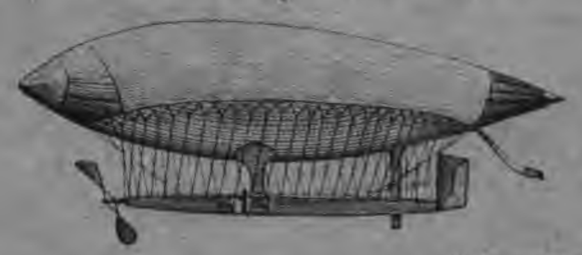
NAVIGATION AÉRIENNE

Critique des aérostats électriques au point de vue du choix du moteur. — Aérostat de Meudon
Emploi de la glace dans les machines à condensation
Aérostat de Meusnier et de Dupuy de Lôme. Calcul de la vitesse
Plans inclinés
Conditions de stabilité des aérostats de forme allongée
Ballons-montgolfières à vapeur. — Durée des voyages aériens
Chaudière aérostatique. — Suppression de la nacelle
Aéro-condenseur. — Atterrissage. — Résistance de l'air
Hélice aérienne. — Machines à réaction. — Aviation

PAR

E. DERVAL

Ingénieur des Arts et Manufactures
Membre de la Société Française de Navigation Aérienne



Si les expériences ne sont pas dirigées par la théorie, elles sont aveugles.
(BACON.)

PLANCHES ET GRAVURES DANS LE TEXTE

PARIS
LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES
Mathématiques, Électricité, Arts Militaires et Industriels, Photographie, etc.
J. MICHELET
25, quai des Grands-Augustins (près le pont Saint-Michel)
1889

ÉTUDE

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

CLERMONT (OISE). — IMP. DAIX FRÈRES.

ÉTUDE

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

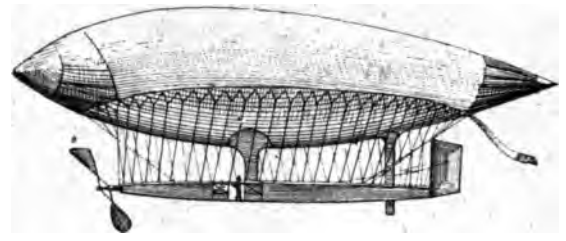
Critique des aérostats électriques au point de vue du choix du moteur. — Aérostat de Meudon
Emploi de la glace dans les machines à condensation
Aérostat de Meusnier et de Dupuy de Lôme. Calcul de la vitesse
Plans inclinés
Conditions de stabilité des aérostats de forme allongée
Ballons-montgolfières à vapeur. — Durée des voyages aériens
Chaudière aérostatique. — Suppression de la nacelle
Aéro-condenseur. — Atterrissage. — Résistance de l'air
Hélice aérienne. — Machines à réaction. — Aviation



PAR

E. DERVAL

Ingénieur des Arts et Manufactures
Membre de la Société Française de Navigation Aérienne



Si les expériences ne sont pas dirigées par la théorie, elles sont aveugles.
(BACON.)

PLANCHES ET GRAVURES DANS LE TEXTE

PARIS
LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES
Mathématiques, Électricité, Arts Militaires et Industriels, Photographie, etc.
J. MICHELET
25, quai des Grands-Augustins (près le pont Saint-Michel)
1889

PRÉFACE

Bien qu'un siècle entier se soit écoulé depuis l'invention des aérostats, la question si controversée de la direction des ballons est restée à peu près stationnaire, malgré les travaux remarquables de Guyton de Morveau, de Meusnier, de Scott, de Giffard et de Dupuy de Lôme, qui ont tracé en quelque sorte la voie à suivre pour résoudre cet intéressant problème.

Les récentes expériences qui ont été faites par MM. Tissandier, Renard et Krebs ayant remis de nouveau à l'ordre du jour la direction des ballons, nous avons pensé qu'une discussion sérieuse et approfondie sur ce sujet ne manquerait pas d'à-propos, et c'est ce qui nous a engagé à faire paraître la présente étude, dans laquelle nous nous sommes efforcés d'exposer clairement un certain nombre d'idées et de principes nouveaux que nous serions heureux de voir appliquer dans la construction des aérostats dirigeables.

La plupart des auteurs qui ont écrit sur l'aérostation se bornent, en effet, à faire l'historique de l'invention des ballons, et rééditent invariablement une foule d'erreurs scientifiques que beaucoup de personnes acceptent ensuite comme paroles d'Evangile. C'est ainsi que dans presque tous les ouvrages de physique publiés avant les célèbres expériences de Giffard, et même après, la direction des ballons est présentée comme impossible à obtenir par la raison *qu'il n'y a pas de point d'ap-*

pui dans l'air ; phrase que ne manquaient jamais de répéter autrefois les graves professeurs chargés d'instruire la jeunesse.

Aujourd'hui encore, les nombreux partisans du *plus lourd que l'air* prétendent démontrer l'impossibilité d'imprimer une vitesse suffisante aux aérostats en disant que *les gaz d'un ballon étant plus légers que l'air, les parois de l'aérostat ne sauraient résister à la pression d'un courant d'air animé d'une certaine vitesse,* ce qui est un raisonnement tout aussi faux que le précédent, attendu qu'il est toujours possible d'obtenir une rigidité suffisante en augmentant simplement la pression des gaz renfermés dans un aérostat.

— L'avenir est à la navigation aérienne, et l'on peut dire, dès à présent, que la conquête de l'air par les aérostats dirigeables s'effectuera sans difficulté le jour où nos savants et nos ingénieurs voudront bien se mettre sérieusement à l'étude de ce nouveau mode de locomotion au lieu d'en contester vaguement la possibilité.

ÉTUDE

SUR LA

NAVIGATION AÉRIENNE

CHAPITRE PREMIER

—

Critique de l'aérostat électrique de MM. Tissandier frères, au point de vue du choix du moteur.

Avant d'aborder l'étude des aérostats dirigeables, nous croyons utile de dire quelques mots de l'application récente des machines électriques à la navigation aérienne, afin de détruire un préjugé qui tend à se répandre dans le public depuis les intéressantes expériences qui ont été faites par MM. Albert et Gaston Tissandier le 8 octobre 1883.

Bien des gens pensent, en effet, que ces habiles aéronautes ont dû choisir le moteur le plus léger pour la mise en mouvement de l'hélice aérienne et que les machines électro-dynamiques sont, par suite, beaucoup plus légères que les machines à vapeur.

C'est là une grave erreur; et il y a tout lieu de croire, au contraire, que si MM. Tissandier, et après eux MM. Renard et Krebs, ont eu recours à l'électricité, c'est uniquement en vue d'éviter les dangers qui peuvent résulter de la présence d'une machine à feu sous un aérostat

rempli de gaz hydrogène. Il n'est guère possible d'admettre, en effet, que ces Messieurs aient ignoré les résultats obtenus en 1852 par Henri Giffard, résultats qui ne laissent aucun doute sur la supériorité de la machine à vapeur, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre par une simple comparaison de chiffres.

Si nous nous en rapportons à l'article que les frères Tissandier ont fait paraître dans *l'Aéronaute* de février 1884, nous voyons que les différentes parties du matériel de leur aérostat se décomposaient ainsi :

	Kilos
Aérostat, avec ses soupapes...........	170
Housse, avec le gouvernail et les cordes de suspension........................	70
Brancards flexibles latéraux............	34
Nacelle................................	100
Hélice.................................	7
Moteur électrique.....................	55
Piles avec le liquide pour les faire fonctionner pendant 2 h. 30..............	218
Engins d'arrêt (ancre et guiderope).....	50
Poids du matériel fixe.........	704
Deux voyageurs avec instruments......	150
Poids du lest enlevé..................	386
Poids total............	1.240

La force ascensionnelle était, en comptant 10 kilos d'excès de force pour l'ascension, de 1250 kilos. — Le volume de l'aérostat entièrement rempli d'hydrogène étant de 1060 m. c., le gaz avait une force ascensionnelle de 1180 grammes par mètre cube, résultat très remarquable avec de l'hydrogène préparé en grand.

En mettant en jeu les 24 éléments de pile, et en faisant

tourner le moteur avec sa vitesse maxima, M. Tissandier dit avoir constaté que l'hélice de 2 m. 80 de diamètre tournait avec une vitesse de 180 tours à la minute, avec un travail effectif de 100 kilogrammètres, et qu'il lui fut possible de tenir tête à un vent de 3 mètres à la seconde.

La machine électro-dynamique pesait 55 kilos et commandait l'hélice par l'intermédiaire d'une transmission par engrenage dans le rapport de $\frac{1}{10}$, de sorte que lorsque la bobine faisait 1600 tours à la minute, l'hélice devait en faire seulement 160 ; ce qui, entre parenthèse, était une disposition assez mauvaise au point de vue de l'utilisation du travail moteur.

— Dans sa brochure sur l'application de l'électricité à la navigation aérienne, M. Tissandier annonçait que cette machine, mesurée au frein, avait pu fournir un travail effectif de 100 kilogrammètres par seconde avec un rendement de 55 °/₀. Le courant était alors de 45 ampères et la différence de potentiel aux bornes de 40 volts.

Il résulte de ces chiffres que le travail électrique recueilli aux bornes de la machine était de $45 \times 40 = 1800$ watts ou $\frac{1.800}{9.81} = 183{,}5$ kilogrammètres ; mais qu'en raison des pertes de toute nature inhérentes à l'appareil lui-même ce travail mesuré sur l'arbre de la machine se trouvait réduit à 100 kilogrammètres.

Quant au travail développé sur l'arbre de l'hélice, M. Tissandier ne le donne pas ; mais il devait être certainement beaucoup moindre par suite de la présence d'un engrenage dans une machine faisant plus de 1600 tours à la minute.

Dans nos calculs, nous supposerons, cependant, que le travail disponible sur l'hélice a été également de 100 kilogrammètres, attendu que rien ne s'opposerait, selon

nous, à ce que l'hélice fût conduite directement par un moteur faisant 15 à 1800 tours à la minute.

Pour comparer le moteur de M. Tissandier à la machine à vapeur, il suffit donc de chercher quel serait le poids d'un moteur à vapeur d'égale force, et de calculer la

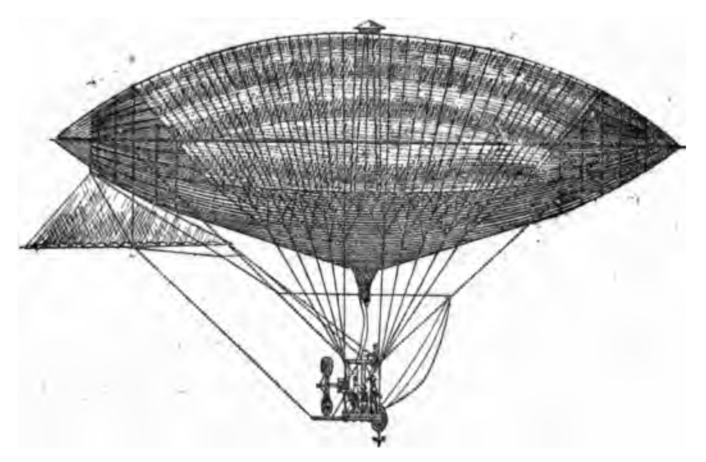


Fig. 1. — Aérostat électrique de MM. Tissandier frères, avec son nouveau gouvernail.— Expérience du 26 septembre 1884.

quantité d'eau et de combustible qu'il faudrait dépenser pour obtenir une force de 100 kilogrammètres disponible sur l'arbre de l'hélice pendant 2 h. 30.

Or, en admettant que le moteur employé soit une petite machine à détente consommant environ 15 kilos de vapeur par cheval et par heure, il suffirait de produire $\frac{15 \times 2,5 \times 100}{75} = 50$ kilogrammes de vapeur, et de brûler environ 6 kilos de combustible pour obtenir un travail de 100 kilogrammètres pendant 2 heures 30 (1).

(1) Bien que dans les conditions de fonctionnement d'un moteur aérostatique le chiffre de 15 kilos soit peut-être un peu faible, nous l'avons adopté dans nos calculs, car il n'est pas rare de voir fonctionner couramment dans l'industrie des machines à détente ne consommant pas plus de 12 kilos de vapeur par cheval et par heure ; cette consommation peut même descendre à 7 kilos dans certaines machines à condensation.

Le poids des piles et de leurs accessoires étant de 218 kilos, on aurait donc pu consacrer :

$$218 - [50+6] = 162 \text{ kilos.}$$

à la chaudière proprement dite.

Un générateur du Temple, du type de celui qui figurait à l'Exposition de 1878 (1), ne pesant que 300 kilos et pouvant vaporiser 140 kilos de vapeur par heure, avec un tirage ordinaire, et 425 kilos avec un tirage forcé, on voit que pour un tirage moyen le poids d'un pareil générateur ressortirait à environ 1 kilo par kilogramme de vapeur à 5 atmosphères, et qu'il suffirait, par conséquent, d'un générateur pesant :

$$\frac{50}{2,5} = 20 \text{ kilogrammes.}$$

et d'un approvisionnement d'eau et de combustible de 56 kilos, soit 76 kilogrammes en tout, pour produire pendant 2 h. 30 le même travail qu'avec les 218 kilogrammes consacrés aux piles de la machine électro-dynamique de M. Tissandier.

— Pour une production de vapeur aussi faible, le poids du générateur rapporté à la quantité d'eau évaporée en une heure dépasserait probablement un kilogramme ; mais en supposant qu'il fût égal à 2 kilos, comme pour la chaudière de M. Giffard, le poids d'un simple générateur à vapeur serait encore deux fois moindre que celui du générateur employé par M. Tissandier.

La durée de l'ascension n'ayant pas dépassé une heure, et l'hélice n'ayant fonctionné que fort peu de temps, il est permis d'ailleurs de douter que les piles emportées eussent été capables de développer un travail électrique de 183 kilogrammètres pendant 2 h. 20. Le con-

(1) La hauteur totale du dôme de ce générateur n'était que de 1 m. 40 et l'espace occupé par les pieds de 0 m. 63.

traire est même évident pour quiconque a vu fonctionner une pile électrique.

— Dans ce qui précède, nous avons supposé que le travail mesuré sur l'*arbre de l'hélice* était de 100 kilogrammètres; mais ce travail est certainement beaucoup trop grand pour une vitesse de 3 mètres.

— En appliquant au ballon allongé de M. Tissandier la formule :

[1] $Tu = \delta K B^2 V^3$ $\left\{ \begin{array}{l} \delta = \text{densité de l'air.} \\ K = \text{coefficient variable.} \\ B^2 = \text{section transversale maxima.} \\ V = \text{Vitesse de l'aérostat.} \end{array} \right.$

qui permet de calculer d'une façon simple le travail absorbé par un aérostat en marche, le travail utile développé par l'hélice serait, en effet, pour une vitesse de 3 mètres :

$Tu = 0,0013 \times 11 \times 3,14 \times 4,5^2 \times 3^3 = 24$ kilgm. 55 en faisant $K = 11$, coefficient établi d'après les résultats obtenus par M. Dupuy de Lôme.

Ce travail utile de 24 kgm., 55 se rapprochant beaucoup de celui qui avait été trouvé par M. Dupuy de Lôme [24 kgm. 77] pour une vitesse de 2 m. 22 et un ballon de 14 m. 84 de diamètre, on peut évidemment admettre avec le savant ingénieur qu'il aurait suffi de transmettre à l'arbre de l'hélice de M. Tissandier un travail brut de 33 kilogrammètres pour obtenir une vitesse de 3 mètres par seconde. Aussi M. Tissandier espérait-il atteindre une vitesse d'environ 4 mètres, soit 15 kilomètres à l'heure, vitesse qui correspondrait à un travail de 90 kilogrammètres mesuré sur l'arbre de l'hélice [voir *l'Aéronaute* de mai 1883].

Cette dernière vitesse aurait été, cependant, assez difficile à obtenir ; car, si nous nous en rapportons à l'article précité, et si nous supposons que le rendement de l'hélice,

mesuré au point fixe soit le même qu'en marche, nous voyons qu'avec 24 éléments réunis en tension on n'a pu obtenir qu'une traction de 9 kils. sur un peson, l'hélice tournant avec une vitesse de 150 tours à la minute. Pour une vitesse de 3 mètres, cette traction correspondrait à un travail utile de $3 \times 9 = 27$ kilogrammètres, exigeant un travail moteur d'environ 41,5 kilogrammètres disponible sur l'arbre de l'hélice, en admettant, avec M. Dupuy de Lôme, que le rendement de l'organe propulseur soit de 65 °/₀.

— Il est donc difficile d'admettre que la machine électro-dynamique des frères Tissandier ait réellement développé un travail brut de 100 kilogrammètres dans l'ascension qu'ils ont faite le 8 octobre 1883 ; mais nous devons dire cependant que dans leur deuxième expérience, exécutée à Paris le 26 septembre 1884, la vitesse de 4 mètres paraît avoir été obtenue pendant *quelques instants*.

« A 400 m. d'altitude, dit M. Gaston Tissandier, nous avons été entraînés par un vent assez vif du nord-ouest, et aussitôt l'hélice a été mise en mouvement, d'abord à petite vitesse ; quelques minutes après, tous les éléments de la pile montés en tension ont donné leur maximum de débit. Grâce aux dimensions plus volumineuses de nos lames de zinc et à l'emploi d'une dissolution de bichromate de potasse plus chaude, plus acide et plus concentrée, il nous a été donné de disposer d'une force motrice effective de un cheval et demi, avec une rotation de l'hélice de 190 tours à la minute. »

« L'aérostat a d'abord suivi presque complètement la ligne du vent, puis il a viré de bord sous l'action du gouvernail et, décrivant une demi-circonférence, il a navigué vent debout. En prenant des points de repère sur la verti-

cale, nous avons constaté que nous nous approchions, lentement, mais sensiblement, de la direction d'Auteuil, ayant une complète stabilité de route. »

« La vitesse du vent était environ de 3 mètres à la seconde, et notre vitesse propre, un peu supérieure, atteignait à peu près 4 m. à la seconde. Nous avons ainsi remonté le vent au-dessus du quartier de Grenelle, pendant plus de dix minutes. »

Quant au poids du moteur proprement dit employé pour la mise en mouvement de l'hélice, il est facile de montrer qu'il était beaucoup plus grand que celui d'une machine à vapeur marchant à grande vitesse. Il suffit pour cela de comparer simplement ce poids à celui de la petite machine à vapeur emportée par M. Henri Giffard dans son ascension du 25 septembre 1852.

Nous trouvons, en effet, dans l'intéressant ouvrage de MM. Sircos et Th. Pallier, qui a pour titre l'*Histoire des Ballons et des Ascensions célèbres*, les données suivantes sur l'aérostat du célèbre ingénieur.

Gonflé avec le *gaz d'éclairage*, l'aérostat à vapeur de Giffard avait 44 m. de long, 12 m. de diamètre et contenait 2,500 m. c. de gaz correspondant à une force ascensionnelle de 1,800 kilos environ, distribués comme il suit :

	Kilos
Aérostat avec soupape.................	320
Filet.................................	150
Traverses, cordes de suspension, gouvernail, cordes d'amarrage..............	300
Machine....... 50 kilos Chaudière vide. 100 » }	150
Eau et charbon contenus dans la chaudière au moment du départ................	60
A reporter. . . .	980

	kilos
Report.	980
Châssis de la machine, brancards, planches, roues mobiles, bâches à eau et à charbon..........................	420
Corde traînante pour arrêter l'appareil en cas d'accident......................	80
Poids de la personne conduisant l'appareil	70
Force ascensionnelle nécessaire au départ	10
Total...............	1.560
Restait disponible pour l'approvisionnement d'eau et de charbon de coke, et par conséquent de lest..............	240

La vitesse de l'hélice, qui avait 3 m. 40 de diamètre, était d'environ 110 tours par minute, et la force que développait la machine pour la faire tourner de 3 chevaux, ce

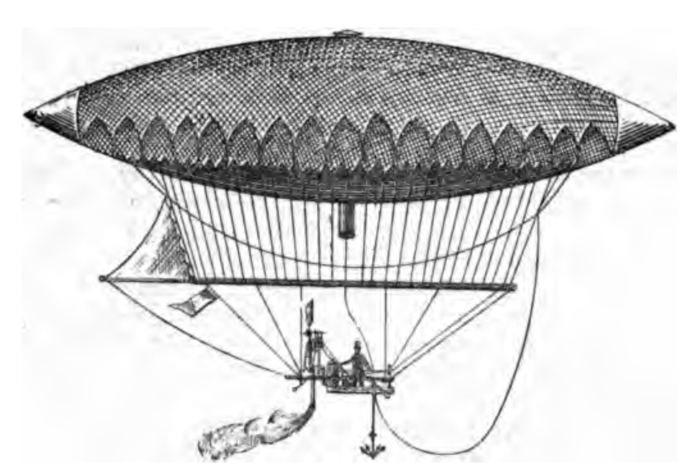


FIG. 2. — Aérostat à vapeur de Henri Giffard. Expérience du 25 septembre 1852.

qui représente la puissance de vingt-cinq ou trente hommes ou 225 kilogrammètres par seconde (1).

(1) M. Giffard obtint une vitesse de 3 m. dans sa première ascension ; lorsqu'il renouvela son expérience en 1855 avec un ballon plus

Il résulte de ces données que, malgré sa faible vitesse, le moteur à vapeur employé par Giffard pesait seulement 50 kilos, au lieu de 55, et pouvait en outre fournir un travail 2 ou 3 fois plus considérable que celui du moteur électro-dynamique de M. Tissandier (1).

— Afin de bien montrer que les aérostats électriques n'ont aucune raison d'être, nous examinerons encore les deux principaux inconvénients que l'on reproche généralement aux aérostats à vapeur, c'est-à-dire les dangers que présente l'emploi d'une machine à feu et l'allégement progressif de l'aérostat lorsque la vapeur s'échappe dans l'atmosphère.

En ce qui concerne les dangers qui peuvent résulter de la présence d'un foyer sous un aérostat dirigeable construit suivant la méthode ordinaire, nous pensons avec M. Tissandier qu'on ne saurait prendre trop de précautions

allongé que le premier et cubant 4.500 m. c., la vitesse obtenue fut d'environ 4 m. La force de la machine de ces deux aérostats ne dépassait pas 3 chevaux.

(1) A propos de machines à vapeur légères, nous croyons devoir reproduire ici les chiffres suivants que nous trouvons dans l'ouvrage de M. de Graffigny sur la navigation aérienne (1888).

« Les plus légères machines à vapeur qui aient été construites, dit « M. de Graffigny, sont celles de M. Dutemple. M. Herreschoff possède « un moteur de ce système qui pèse, vide, avec sa chaudière et ses ap- « pareils, 22 kg. 500 pour 4 chevaux-vapeur, soit 5 kg. 625 par force de « cheval. Mais avec son approvisionnement d'eau et de combustible pour « une heure seulement, ce poids est triplé et se trouve porté à 15 kg. « par cheval. Et c'est certainement là le maximum de légèreté qu'on « puisse donner à une machine à vapeur ; les machines pour les torpil- « leurs pesant 27 kilogrammes par cheval et les moteurs industriels « de 50 à 100 kilos pour la même puissance. »

Le chiffre de 5 kg. 625 par force de cheval nous paraît bien faible et il ne serait guère prudent de s'y fier; mais nous pensons qu'on peut actuellement fixer à 25 kilos par force de cheval le poids minimum d'un moteur aérostatique avec sa chaudière et ses appareils, soit une réduction de moitié sur le poids de l'ancienne machine de Giffard qui pesait à vide 50 kilos par force de cheval.

pour éviter l'inflammation possible du gaz qui s'échappe par les pendentifs ; mais nous sommes convaincus cependant que les chances d'incendie pourraient être considérablement réduites en plaçant les pendentifs à l'arrière de l'aérostat et en remplaçant au besoin ces organes par de véritables soupapes de sûreté, placées au-dessus de l'aérostat et disposées de façon à pouvoir s'ouvrir d'elles-mêmes si la pression dépassait une certaine limite.

Un autre moyen très simple de diminuer les chances d'incendie consisterait à recouvrir d'une couche métallique très mince les parties les plus exposées de l'étoffe du ballon. Le clinquant que l'on colle sur le papier n'a que $\frac{1}{120}$ de millimètre d'épaisseur et conviendrait assez bien pour cet usage ; son emploi présenterait, en outre, l'avantage de supprimer presque complètement les pertes de gaz à travers l'étoffe.

Quant à la nacelle, elle serait facilement préservée au moyen d'une des nombreuses préparations proposées pour rendre incombustibles les étoffes et les bois, et rien ne s'opposerait à ce que les cordes de suspension fussent remplacées par des fils de fer ou de cuivre.

— L'emploi d'un combustible liquide, tel que le pétrole, nous paraît également très avantageux au point de vue qui nous occupe, en ce sens qu'il permettrait d'éviter l'entraînement des escarbilles.

— Enfin, il sera toujours prudent de garnir la porte du foyer avec des toiles métalliques convenablement disposées.

M. Henri Giffard ne paraît pas attacher d'ailleurs beaucoup d'importance à cette question, car il dit dans son rapport que *le danger résultant de la réunion d'une machine à feu et du gaz inflammable était complètement*

illusoire, opinion qui paraît avoir été consacrée par la pratique.

Selon nous, le seul moment critique serait celui de l'atterrissage ; mais alors, on aurait toujours la ressource d'éteindre rapidement le foyer en y lâchant la vapeur de la chaudière. L'emploi d'un moteur électrique est du reste presque aussi dangereux, au point de vue des chances d'incendie, car les petites étincelles que l'on observe toujours au balai de la machine peuvent parfaitement enflammer le gaz du ballon.

— Si nous examinons maintenant les prétendus inconvénients que présente l'augmentation de la force ascensionnelle de l'aérostat par suite de l'évaporation de l'eau de la chaudière, nous trouvons, au contraire, que cette circonstance est plus heureuse et constitue un avantage précieux à l'actif de la machine à vapeur.

Il y a lieu de se demander, en effet, quel intérêt il peut y avoir à emporter sous forme de piles électriques un poids relativement énorme qui neutralise une grande partie de la force ascensionnelle alors qu'il est indispensable de jeter continuellement du lest pour empêcher la descente du ballon.

Il est possible, évidemment, que si l'eau et le combustible se dépensent trop vite, l'aérostat ait une certaine tendance à monter ; mais c'est là un petit inconvénient auquel il sera toujours possible de remédier en laissant échapper un peu de gaz, tandis que si l'aéronaute n'a plus suffisamment de lest à sa disposition, il ne lui reste plus qu'à descendre.

La durée d'un voyage effectué avec un aérostat à vapeur sera donc toujours beaucoup plus grande qu'avec un aérostat électrique ; car le poids des piles restera constant, tandis que celui de l'eau de la chaudière se trouvant dé-

pensé graduellement en vapeur, aura pour effet d'alléger l'aérostat sans qu'il soit nécessaire de jeter du lest. M. Giffard, dans son mémoire, attachait une grande importance à cette circonstance et nous partageons entièrement sa manière de voir.

Nous avons cru utile d'entrer dans ces considérations, un peu longues peut-être, afin de bien montrer que dans l'état actuel de la science, rien ne justifie l'application des moteurs électriques à la navigation aérienne. Il ne suffit pas, en effet, pour se rendre compte de la valeur de ces moteurs, de calculer le nombre de calories transformables en électricité que peut fournir telle ou telle réaction ; il faut encore connaître quelle est la proportion de cette énergie susceptible d'être transformée en travail mécanique, et examiner quel serait, en définitive, le poids des piles et de leur approvisionnement pour obtenir pratiquement un travail donné.

Nous ne saurions donc admettre le mode de calcul adopté par M. David Napoli dans sa *Note sur les Moteurs légers* [*Aéronaute* de mai 1883], car il n'est évidemment pas permis de comparer le poids *théorique* des réactifs employés dans une pile au *poids de vapeur* qu'il faudrait dépenser pratiquement pour produire un nombre déterminé de kilogrammètres.

Si M. Napoli avait comparé, comme il aurait dû le faire à notre avis, le poids de zinc ou de sodium *brûlé* dans une pile *au poids de charbon* brûlé dans le foyer d'une chaudière, il serait certainement arrivé à de tout autres conclusions, attendu que, pour brûler du zinc, il est indispensable d'emporter son comburant sous forme d'acide plus ou moins étendu d'eau, tandis que le comburant

du charbon, étant puisé directement dans l'atmosphère, *ne pèse rien.*

Dans une machine à feu, la vapeur n'a pas, d'ailleurs, d'autre rôle que de permettre la transformation de la chaleur du foyer en travail mécanique ; de sorte que si l'on faisait usage d'une machine à condensation, la même quantité de vapeur pourrait servir indéfiniment, et l'approvisionnement de la machine se réduirait au poids du combustible nécessaire au chauffage de la chaudière.

Il résulte de là que si l'on pouvait, au moyen de la condensation, se servir continuellement de la même eau, les moteurs à vapeur se trouveraient exactement dans les mêmes conditions que les moteurs électriques au point de vue de la suppression du poids du fluide par l'intermédiaire duquel se fait la transformation de la chaleur en travail mécanique, et ils présenteraient sur ces derniers l'immense avantage de ne pas exiger de comburant.

La manipulation d'une batterie de 24 éléments de pile au bichromate de potasse n'est pas, du reste, chose facile, et présente même des dangers très réels dans un espace aussi restreint que la nacelle d'un aérostat.

— Quant à l'emploi des accumulateurs électriques, préconisé par plusieurs personnes, les expériences préliminaires qui ont été faites par M. Tissandier, ont prouvé qu'il n'y fallait guère songer, actuellement du moins, car leur poids est sensiblement supérieur à celui des piles.

Les chiffres suivants que nous empruntons à l'ouvrage de M. H. de Parville sur l'*Electricité et ses applications* permettent, d'ailleurs, de se rendre compte de la valeur des accumulateurs au point de vue qui nous occupe.

« M. Tissandier, dit M. de Parville, a réalisé un modèle de ballon qui fonctionnait à l'Exposition et auquel un petit moteur électrique Trouvé communiquait un mouve-

ment de propulsion, en faisant tourner une hélice. L'électricité est fournie au moteur par une pile secondaire Planté. Le ballon en forme allongée, mesure 3 m. 50 de longueur et 1 mètre 50 de diamètre. Gonflé d'hydrogène pur, il a un excédent de force ascensionnelle de 2 kilogrammes. Le moteur pèse 220 grammes. L'accumulateur Planté pèse 220 grammes. L'hélice, à deux branches très-légères, a 40 centimètres de diamètre. L'aérostat progressait pendant quelques minutes dans l'air calme du Palais. »

« Avec un accumulateur Planté du poids de 1 k. 300, l'hélice fait six tours et demi à la seconde, et la vitesse se maintient de 1 mètre à la seconde pendant plus de 40 minutes. Avec deux éléments Planté associés en tension, on peut faire tourner une hélice de 60 centimètres de diamètre communiquant une vitesse de 2 mètres au ballon pendant 10 minutes. »

« Si l'on passe maintenant de ce petit ballon d'essai à un ballon de grand volume, on arrive à des *conclusions satisfaisantes*. Un moteur dynamo-électrique de six chevaux de force ne pèse pas plus de 300 kilogrammes ; on peut l'alimenter, pendant plus d'une heure, avec un poids de 900 kilogrammes d'accumulateurs, soit au total pour la force motrice 1,200 kilogrammes. »

— Le poids d'une machine à vapeur de 6 chevaux, munie de sa chaudière ne dépassant pas 3 à 400 kilogrammes, dans les mêmes conditions de marche, nous doutons qu'on puisse arriver à des conclusions favorables à l'emploi des accumulateurs.

Aérostat de Meudon.

Les résultats pratiques obtenus à Meudon le 9 août 1884 ne paraissent pas avoir été meilleurs que ceux qui ont été fournis par l'aérostat électrique des frères Tissandier.

Si nous nous en rapportons à la note présentée à l'Académie des Sciences par MM. Renard et Krebs, note que nous trouvons reproduite dans le journal *La Nature* du 30 août 1884, nous voyons que, gonflé avec du gaz hydrogène pur, leur ballon avait une longueur de 50 m. 42, un diamètre de 8 m. 40, un volume de 1864 m. c. et une force ascensionnelle totale d'environ 2.000 kilos se décomposant ainsi :

Ballon et ballonnet	369
Chemise et filet	127
Nacelle complète	452
Gouvernail	46
Hélice	41
Machine	98
Bâti et engrenage	47
Arbre moteur	30.50
Pile, appareils et divers	435.50
Aéronautes	140
Lest	214
Total	2.000

La machine motrice avait été construite de manière à pouvoir développer sur l'arbre 8,5 chevaux, représentant pour le courant aux bornes d'entrée 12 chevaux.

Comme dans l'aérostat des frères Tissandier, elle

transmettait son mouvement à l'arbre de l'hélice par l'intermédiaire d'un pignon engrenant avec une grande roue, disposition peu heureuse et qui expliquerait en partie la médiocrité des résultats obtenus ainsi que nous en avons déjà fait l'observation à propos de la machine de M. Tissandier.

Le poids de la pile par cheval-heure mesuré aux bornes était, paraît-il, de 19 kilos 35 ; mais nous avons tout lieu de croire que c'est là un résultat exceptionnel qui n'a été fourni que momentanément, au moment par exemple de la mise en marche ; car, dans la pratique, le poids d'une pile par cheval heure serait beaucoup plus grand. Ainsi, le poids de la pile employée par M. Tissandier ne ressort pas à moins de $\frac{218 \times 75}{2,5 \times 183}$ =

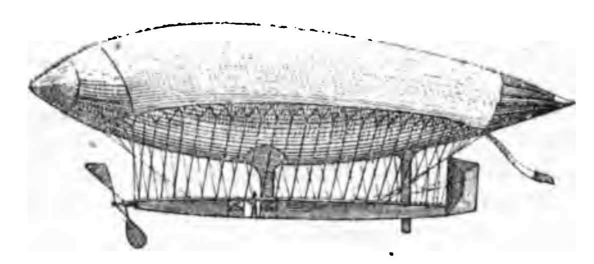


Fig. 3. — Aérostat électrique de Meudon, expérimenté le 9 août 1884.

43,3 par cheval-heure mesuré aux bornes et à $\frac{218 \times 75}{2,5 \times 100}$ = 65 kilos 6 par cheval-heure, mesuré sur l'arbre de la machine, et nous ne pensons pas que la pile de M. Renard soit beaucoup plus légère, car si, comme on l'a dit, le degré de concentration et la nature des liquides [bichromates alcalins] étaient les mêmes que dans la pile Tissandier, il n'y a aucune raison pour que le *travail électrique total* engendré par un même poids de pile soit plus grand dans un cas que dans l'autre.

— On peut, il est vrai, augmenter la puissance d'une pile en la laissant s'échauffer sous l'influence de la cha-

leur dégagée par les réactions chimiques, ou même échauffer préalablement la dissolution de bichromate comme l'ont fait MM. Albert et Gaston Tissandier ; mais c'est là un moyen peu pratique, et qui pourrait même devenir très-dangereux pour les aéronautes, si le liquide des piles venait à prendre une température trop élevée.

— Aussi ne tiendrons-nous compte dans nos calculs que des résultats obtenus *pratiquement* par MM. Renard et Krebs, en supposant que leur aérostat ait marché avec son maximum de vitesse pendant 2 heures consécutives, bien que la durée de leur première expérience n'ait pas dépassé 23 minutes et celle de la seconde 10 minutes environ (1).

(1) MM. Tissandier frères, témoins oculaires de l'ascension du 12 septembre 1884, évaluent à 20 kilomètres à l'heure, soit 5 à 6 mètres par seconde, la vitesse de l'aérostat de Meudon, l'hélice motrice faisant environ 40 tours à la minute.

Si nous nous en rapportons à l'intéressant article publié par M. Gaston Tissandier dans l'*Aéronaute* d'octobre 1884, voici quelle serait la description du mystérieux aérostat :

« Le ballon proprement dit est enveloppé d'une housse ou chemise « de suspension, dans laquelle il se trouve parfaitement sanglé de toutes « parts, sauf à la partie inférieure. L'avant est d'un diamètre plus con« sidérable que l'arrière. La nacelle est formée de quatre perches rigi« des de bambous, reliées entre elles par des montants transversaux. « Elle a environ 33 mètres de longueur et 2 mètres de hauteur au mi« lieu ; trois petites fenêtres latérales sont réservées vers le milieu, afin « que les aéronautes puissent voir l'horizon et distinguer la terre. Cette « nacelle, très légère et de forme élégante, est recouverte de soie de « Chine tendue sur ses parois. Cette enveloppe a pour but de diminuer « la résistance de l'air, et de faciliter le passage du système à travers le « milieu ambiant. L'hélice est à l'avant de la nacelle, elle est formée de « deux palettes, et a environ 7 mètres de diamètre ; elle est faite à l'aide « de deux tiges de bois reliées entre elles par des lattes recourbées sui« vant épure géométrique et recouverte d'un tissu de soie vernie parfai« tement tendue.

« La nacelle est reliée à l'aérostat par une série de cordes de suspen« sion très légères réunies entre elles au moyen d'une corde longitudi« nale qui, attachée vers le milieu, donne de la rigidité au système. Le

Dans ces conditions, le poids des piles par cheval-heure mesuré sur l'arbre de l'hélice ressortirait à environ $\frac{435,5 \times 75}{2 \times 250 \times 0,70} = 93$ kilogrammes et celui du cheval-heure mesuré aux bornes à 65 ks, ce qui ne veut pas dire que la pile de Meudon soit plus lourde que celle de M. Tissandier, car nous avons montré tout à l'heure que le travail brut, donné par la machine de M. Tissandier, devait être inférieur à 100 kilogrammètres (1).

« gouvernail, placé à l'arrière, est à peu près rectangulaire ; ses deux « surfaces en étoffe de soie bien tendues sur un châssis de bois sont lé« gèrement saillantes, en forme de pyramide à 4 faces de très-faible hau« teur. Le navire est muni de deux tuyaux qui descendent dans la na« celle ; l'un de ces tuyaux est destiné à remplir d'air le ballonnet com« pensateur, au moyen d'un ventilateur que l'on fait fonctionner de la « nacelle ; le second tuyau sert probablement à assurer une issue à « l'excès de gaz produit par la dilatation.

« A l'arrière de la nacelle, deux grandes palettes en forme de rames, « sont fixées *horizontalement* ; elles servent peut-être à écarter à droite « et à gauche les cordes du gouvernail. Nous ne savons pas quel est l'u« sage de cet organe ; il est possible qu'il soit utilisé dans le but de mo« dérer la descente. L'hélice est actionnée par une machine dynamo« électrique, et le générateur d'électricité est une pile au sujet de laquelle « M. le capitaine Renard garde le secret. »

— D'après cette description, il semblerait qu'en dehors du moteur et de la forme spéciale donnée au ballon et à la nacelle, le système de l'aérostat de Meudon est exactement le même que celui de l'aérostat dirigeable de M. Dupuy de Lôme. — Quant aux deux grandes palettes en forme de rames fixées *horizontalement* à l'arrière de la nacelle, nous pensons qu'elles avaient pour but d'assurer l'horizontalité de la nacelle en jouant le rôle de gouvernail horizontal. Nous donnerons plus loin la description d'un gouvernail horizontal analogue, mais pouvant fonctionner automatiquement comme dans les torpilles Withehead.

(1) Le chiffre de 65 kilos obtenu pratiquement par cheval-heure mesuré aux bornes, dépassant de beaucoup le chiffre minimum de 19 kilos 35 annoncé par M. Renard, il est assez difficile de se faire une idée exacte de la valeur des piles employées à Meudon.

Selon nous, la supériorité des piles Renard sur celles de M. Tissandier consisterait surtout dans une disposition nouvelle permettant de dépenser plus rapidement leur énergie ; mais alors l'échauffement du liquide était à craindre, et il est probable que c'est cette circonstance qui a empêché les aéronautes d'atteindre une vitesse supérieure à 5 m. 50, lors de leur première ascension.— Les vitesses de 6 et 6,50 atteintes dans les

— Voici, d'ailleurs, le tableau des principaux résultats obtenus par MM. Renard et Krebs, tableau qui nous a permis d'établir les chiffres ci-dessus.

ascensions suivantes ont dû être obtenues par un refroidissement convenable des piles.

Bien que nos chiffres soient contradictoires avec ceux que M. Renard a donnés dans une Conférence faite à la Sorbonne à la Réunion annuelle de la *Société des amis de la Science*, nous croyons devoir maintenir d'une façon générale l'exactitude de nos conclusions, par la raison que le *temps* pendant lequel les piles auraient pu développer une force constante de 8 à 9 chevaux ne nous paraît pas suffisamment établi.

— Voici, d'ailleurs, le passage de la Conférence de M. Renard auquel nous faisons allusion, passage qui résume en quelque sorte l'opinion de l'auteur sur la valeur des différents moteurs susceptibles d'être employés pour la propulsion des aérostats [*Revue de l'Aéronautique d'avril* 1888].

« En ne considérant, dit M. Renard, que la force motrice sans se « préoccuper de la durée d'action, la pile de Chalais est environ quatre « fois plus légère que la pile de M. Tissandier, sept fois plus que les « accumulateurs et vingt fois plus que la force humaine.

« Si maintenant l'on tient compte de la durée d'action, et si l'on com- « pare les poids des sources de force, en les rapportant à une même « quantité de travail total, qui sera, si l'on veut, celle d'un cheval-vapeur « pendant une heure, on voit que la pile de Meudon est à peu près trois « fois plus légère que les accumulateurs et la pile de M. Tissandier, et « douze fois plus légère que la force humaine.

« Telle est la mesure du progrès accompli à Meudon, en ce qui con- « cerne les moteurs électriques, les autres moteurs ayant été rejetés en « raison des difficultés de toute nature qu'ils présentent pour l'*exécution* « *d'essais* où il faut avant tout chercher à employer des mécanismes aussi « simples que possible. »

Comme on le voit, ces chiffres sont en complet désaccord avec les nôtres, puisque nous avons vu tout à l'heure qu'en supposant que la machine de M. Tissandier eût pu fournir réellement pendant 2 h. 1/2 un travail brut de 100 kilogrammètres, le poids des piles employées ressortait seulement à 43 kil. par cheval-heure mesuré aux bornes, tandis que celui de la pile Renard, calculé, il est vrai, d'après les résultats de l'expérience du 9 août, était d'environ 65 kil. pour deux heures de marche.

L'auteur ajoute en note : « *Qu'en raison de la presque impossibilité de* « *condenser la vapeur à bord des navires aériens*, une machine à vapeur « construite dans les plus grandes conditions de légèreté n'aurait pas « permis d'emporter une plus grande quantité d'énergie totale que le « moteur et la pile employés. Dans ces conditions, l'avantage est évi-

Chemin parcouru avec la machine mesuré sur le sol.............	7 km. 600
Durée de cette période..........	23 m.
Vitesse moyenne à la seconde...	5 m. 50
Nombre d'éléments employés....	32
Force électrique dépensée aux bornes de la machine............	250 kgm.
Rendement probable de la machine	0.70
Rendement probable de l'hélice..	0.70
Rendement total, environ	1/2
Travail de traction.............	123 kgm.
Résistance approchée du ballon..	22 kil. 800

Dans les expériences préliminaires faites pour mesurer la traction au point fixe, on avait obtenu une traction de 60 kilogrammes pour un travail électrique développé de 840 kilogrammètres, l'hélice faisant 46 tours par minute ; ce qui semblerait indiquer que la machine n'a donné que la moitié ou le tiers de la force qui aurait pu être obtenue avec une batterie suffisante, et qu'il a fallu réduire le nombre des éléments pour ne pas dépasser le poids de 435 kilos consacré aux piles.

— La hauteur maxima atteinte par l'aérostat fut d'environ 300 m., ce qui suppose l'emploi d'un ballonnet à air d'une capacité moindre que celui du ballon de M. Dupuy de Lôme.

« demment à l'électricité qui donne du premier coup le mouvement de « rotation et supprime le danger du feu. »

MM. Renard et Tissandier ayant employé un système de roues d'engrenage pour transmettre le mouvement de la machine à l'arbre de l'hélice, on ne voit pas clairement en quoi consiste la supériorité des machines électriques au point de vue de la production directe du mouvement de rotation, car rien ne s'opposerait évidemment à ce que l'hélice fût conduite directement par une machine rotative ou un moteur Brotherhood.

— Par suite de l'absence complète de vent, le ballon revint sans difficulté à son point de départ, et toutes les manœuvres réussirent à merveille ; mais, chose très importante à noter, le ballon eut à subir à plusieurs reprises des oscillations de 2° à 3° d'amplitude analogues au tangage ; nous donnerons plus loin l'explication de ce phénomène qui était inévitable avec un ballon construit, à peu de chose près, sur le modèle de celui de M. Dupuy de Lôme.

Dans leur mémoire, MM. Renard et Krebs attribuent ces oscillations à des irrégularités de forme ou à des courants d'air locaux dans le sens vertical, ce qui est assez invraisemblable. Nous pensons plutôt que ces oscillations sont dues aux *déplacements des masses gazeuses* à l'intérieur de l'aérostat, et nous indiquerons plus tard les moyens par lesquels on pourrait, à notre avis, remédier à ce grave inconvénient.

— Si nous additionnons les poids de la machine, du bâti, de l'engrenage, de l'hélice, de l'arbre moteur, des piles et de leurs accessoires, nous trouvons un total de 652 kilogrammes pour le poids de la machine et du générateur électrique avec lesquels MM. Renard et Krebs ont pu imprimer à leur aérostat une vitesse de 5 m. 5 correspondant à un travail de traction de 123 kilogrammètres, et à un travail brut sur l'*arbre de l'hélice* de $250 \times 0{,}70 = 175$ kilogrammètres.

— Si nous cherchons maintenant le travail qu'une machine à vapeur du type employé par Giffard aurait donné sous le même poids et pendant le même temps, nous trouvons que l'on aurait pu obtenir avec une machine pesant $150 \times 3 = 450$ kilos, chaudière comprise, un travail de 9 chevaux, exigeant une dépense d'eau et de combustible d'environ 150 kilos à l'heure ; de sorte qu'en consa-

crant 750 kilos au poids de l'appareil moteur pour 2 heures de marche, il aurait été possible d'obtenir un travail $\frac{2 \times 75}{175}$ = 3,86 fois plus grand, et la durée du voyage aurait pu être portée à 3 h. 1/2 si les 214 kilos de lest avaient été remplacés par un poids d'eau équivalent (1).

Une chaudière de 300 kilos, du type Giffard, pouvant vaporiser $15 \times 3 \times 3 = 135$ kilos de vapeur à l'heure, et une chaudière Du Temple plus du double, on voit qu'il aurait été possible d'obtenir pendant une heure ou deux un travail 8 fois plus considérable que celui qui a été développé dans l'ascension du 9 août 1884.

Dans ces conditions, l'aérostat de Meudon aurait pu atteindre une vitesse maxima de près de 11 m. par seconde, soit 40 kilomètres à l'heure, ainsi que le montre la relation suivante :

$$\frac{V^3}{5,5^3} = 8$$

d'où l'on tire V = 11 mètres.

Dans la note qu'il a présentée à l'Académie des Sciences, M. Renard admettait que pour obtenir une vitesse par seconde de 8 à 9 mètres, il aurait fallu un travail de traction utile de 5 chevaux de 75 kilogrammètres, ou en tenant compte des rendements de l'hélice et de la machine un travail électrique sensiblement double mesuré aux bornes. Le coefficient de résistance K correspondant à ces données serait de 10,17 pour la vitesse de 8 m. et seulement de 7,144 pour celle de 9 mètres.

Si le courant électrique fourni par les piles possédait réellement une puissance suffisante pour produire un travail de 12 chevaux aux bornes de la machine, il y a donc lieu de s'étonner que la vitesse de 8 mètres n'ait pas été atteinte, car l'aérostat de Meudon ayant une forme très

(1) Pour plus de simplicité, nous avons négligé le poids de l'eau non utilisable contenu dans la chaudière, poids qui ne dépasserait certainement pas 100 kilos.

allongée, son coefficient de résistance devait être certainement inférieur à celui du ballon de M. Dupuy de Lôme que nous avons trouvé être égal à 11.

En appliquant la formule : $Tu = \frac{1}{2} K B^2 V$ à l'aérostat de Meudon qui avait 8 m. 40 de diamètre, on trouverait, pour une vitesse de 5 m. 50 et pour $K = 10$, un travail utile de 119 kilogrammètres, chiffre qui se rapproche beaucoup, comme on le voit, des 123 kilogrammètres trouvés pour le travail de traction (1).

(1) Le compte-rendu des expériences faites l'année suivante ne présentant aucune particularité qui puisse modifier notre manière de voir en ce qui concerne le poids du moteur et de son générateur, nous nous bornerons à reproduire ici le paragraphe suivant de la note dans laquelle M. le capitaine Ch. Renard a résumé les résultats obtenus dans ses dernières ascensions [Voir l'*Aéronaute* de janvier 1886].

Après avoir donné quelques indications sur les modifications apportées à la machine électro-dynamique et sur les moyens employés pour mesurer la vitesse du ballon par rapport à l'air ambiant, M. Renard s'exprime ainsi :

« Les mesures de vitesse, que nous avons exécutées pendant ces deux « expériences, nous ont permis d'établir sur des *bases sérieuses* les for- « mules fondamentales qui peuvent servir à l'évaluation de la résistance « des ballons analogues à la *France*, en y comprenant le filet et la na- « celle. Les résistances mesurées sont beaucoup *plus grandes que nous* « *l'avions cru* sur la foi des expériences très-incomplètes dont nous « avions dû nous contenter pour l'établissement de notre projet.

« Si l'on désigne par :

« R la résistance de l'air au mouvement longitudinal de l'appareil (en kilogrammes) ;

« V sa vitesse en mètres par seconde :

« O le travail de traction direct ;

« T le travail sur l'arbre de l'hélice ;

« D le diamètre du ballon,

On aura :

« (1) $R = 0{,}01685\ D^2 V^2$.

« (2) $O = 0{,}01685\ D^2 V^3$.

« (3) $T = 0{,}0326\ D^2 V^3$.

« S'il s'agit, par exemple, d'un ballon de 10 mètres de diamètre (3142 « m. c. environ), la force motrice nécessaire pour lui imprimer une « vitesse propre de 10 mètres par seconde, qui suffirait pour le diriger « dans la plupart des cas, serait d'après l'équation (3) :

$$T = 0{,}0326 \times 10^2 \times 10^3 = 3260 \text{ kgm. ou } 43 \text{ chevaux } 5,$$

— Autant que nous pouvons en juger par le compte rendu des expériences de Meudon, les résultats pratiques obtenus par MM. Renard et Krebs ne sont donc pas

« Nous terminons cette note en résumant, dans un tableau, les résul-
« tats obtenus dans les sept ascensions du ballon *la France*. Les vites-
« ses des ascensions de l'année dernière ont été rectifiées d'après les ré-
« sultats des ascensions du 22 et du 23 septembre 1885 :

NUMÉROS des ASCENSIONS.	DATES	NOMBRE de TOURS d'hélice par minute.	VITESSE du BALLON en mètres par seconde	OBSERVATIONS
1	9 août 1884.	42	4,58	Le ballon rentre à Chalais.
2	12 sept. 1884.	50	5,45	Avarie de machine. Descente à Vélizy.
3	8 nov. 1884.	55	6,00	Le ballon rentre à Chalais.
4	»	35	3,82	—
5	25 août 1885.	55	6,00	Vent de 6 m. 50 à 7 m. Descente à Villacoublay.
6	22 sept. 1885.	55	6,00	Le ballon rentre à Chalais.
7	23 sept. 1885.	57	6,22	—

« L'aérostat est revenu cinq fois sur sept à son point de départ. »

Il résulte de ce tableau que la vitesse de 5 m. 50 annoncée en août 1884 était probablement trop forte et qu'il convient de la réduire à 4 m. 58, ce qui accentuerait encore l'infériorité des machines électro-dynamiques par rapport à la machine à vapeur.

Nous nous abstiendrons de discuter ici les formules (1) (2) et (3) établies par M. Renard; mais nous ferons remarquer cependant qu'elles ne tiennent aucun compte de la diminution de la densité de l'air à l'altitude où se fait l'expérience et du volume plus ou moins grand des aérostats.

Le coefficient 0,01685 de la formule (2) correspondrait à $K = 16$ dans la formule $Tu = \delta K B^2 V^3$ au lieu de $K = 11$, coefficient déduit des expériences de M. Dupuy de Lôme.

Il est donc assez difficile d'admettre l'exactitude de la formule (2) pour un aérostat *aussi allongé* que celui de Meudon, et si l'évaluation du travail de la machine motrice dans ces diverses ascensions était exacte, nous pensons que la grande résistance opposée par l'air à la marche du ballon devrait être attribuée à un manque d'horizontalité plutôt qu'à

beaucoup meilleurs que ceux qui avaient été fournis par l'aérostat électrique des frères Tissandier ; mais la forme du ballon, la disposition de la nacelle et les rames horizontales, constituent un progrès réel dans la construction des aérostats dirigeables.

MM. Renard et Krebs ont reconnu, en outre, la nécessité de placer l'hélice à l'avant de la nacelle, et, bien que l'idée ne soit pas absolument nouvelle, nous devons féliciter ces messieurs d'avoir rompu enfin avec la routine en renonçant, comme le disait il y a quelques années M. Jobert, à mettre la charrue avant les bœufs (1).

une augmentation anormale de la résistance due à la forme particulière de l'aérostat.

Il est bon d'observer cependant que le volume de l'aérostat de M. Dupuy de Lôme était de 3454 m. c. au lieu de 1864 m. c. et que la résistance diminue sensiblement à mesure que le volume augmente. Nous ferons remarquer, en outre, qu'il n'est pas permis d'évaluer le travail de la machine d'après le nombre de tours de l'hélice, sans tenir compte des variations de densité de l'air aux différentes altitudes atteintes par l'aérostat, car il est bien évident que l'hélice tournera d'autant plus vite que la densité du fluide dans lequel elle se meut sera moindre.

En ce qui concerne la vitesse de 6,22 obtenue dans l'ascension du 23 novembre 1885, M. Renard a reconnu depuis avoir négligé dans le calcul l'*inertie du loch* et pense que cette vitesse a été en réalité de 6 m. 50 ; la formule (2) devrait donc être rectifiée (voir la note publiée dans la *Revue de l'aéronautique* d'Avril 1888).

(1) L'idée de placer une hélice à *l'avant* d'un aérostat de forme allongée a été émise plusieurs fois, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte en examinant les nombreux dessins qui figurent dans le très-intéressant ouvrage que M. G. Tissandier a fait paraître tout récemment sur la *Navigation aérienne*, et qui fait partie de la *Bibliothèque des Merveilles* publiée par M. Hachette.

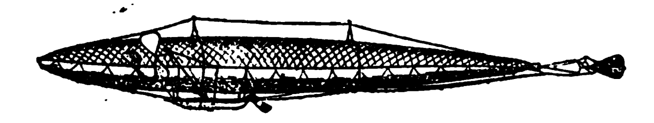


Fig. 4.— Aérostat dirigeable de Jullien, expérimenté le 6 Novembre 1850.

Quant à l'idée du gouvernail horizontal, elle a été émise également par l'horloger Jullien, dont le modèle d'aérostat dirigeable allonge

Emploi de la glace dans les machines à condensation.

Un moyen très-simple d'éviter l'allégement de l'aérostat déterminé par l'évaporation de l'eau de la chaudière, consisterait à condenser la vapeur d'échappement de la machine en se servant, par exemple, d'un *aéro-condenseur*, car le volume d'eau qu'il faudrait emporter pour alimenter la bâche d'un condenseur ordinaire serait beaucoup trop grand.

Si nous ouvrons Claudel à l'article *Condensation*, nous trouvons, en effet, qu'avec de l'eau à 10° et de bonnes machines à détente, la consommation d'eau peut descendre à 200 litres par cheval et par heure ; de sorte que pour condenser pendant une heure seulement la vapeur d'échappement de la petite machine de 100 kilogrammètres que nous avons proposé de substituer au moteur électrique de M. Tissandier, il faudrait emporter au moins

$$\frac{200 \times 100}{75} = 266 \text{ kilogrammes d'eau}$$

à prélever sur les 385 kilos de lest enlevé dans l'ascension du 8 octobre 1883.

Comme on le voit, le temps pendant lequel la machine pourrait fonctionner serait trop court pour qu'il y eût intérêt à faire usage de la condensation ; mais en remplaçant l'eau par de la *glace*, la condensation pourrait se faire pendant un temps beaucoup plus long.

On sait, en effet, que si l'on fait fondre 1 kilo de

rappelle celui de Meudon et peut être considéré comme le point de départ des tentatives modernes.

« Jullien, dit M. G. Tissandier, auquel nous empruntons ces renseignements, était un petit horloger de village qui avait toujours été misérable ; l'exposition de son remarquable petit ballon ne lui rapporta que des déceptions ; il avait cependant étudié avec grand mérite le problème de la navigation aérienne, et il peut être cité comme un précurseur d'Henri Giffard, qui assista à ses remarquables expériences, et en tira profit pour ses constructions futures. Nous tenons le fait de Giffard lui-même. »

glace à 0° dans 1 kilo d'eau à 80°, on obtient finalement 2 kilos d'eau à 0°, ce qu'on exprime en disant que la *chaleur latente de fusion* de la glace est d'environ 80°.

Il suit de là que pour amener la fusion de 266 kilos de glace à 0° et élever la température de l'eau de fusion à 10°, il faudrait envoyer au condenseur une quantité de vapeur suffisante pour dégager : $266 \times 90 = 23940$ calories.

Or, si nous cherchons quel est le nombre de calories contenu dans la vapeur qui se rend au condenseur, nous trouvons, en admettant que la machine consomme 10 kilos de vapeur par cheval et par heure, et que la condensation se fasse à 40°, une quantité de chaleur égale à :

$$\frac{10 \times 100}{75} [650 - 40] = 8000 \text{ calories.}$$

pour une heure de marche.

Avant que toute l'eau du condenseur ait pris la température de 40°, la machine pourrait donc fonctionner pendant :

$$1 \text{ h.} + \frac{23940}{8000} = 3 \text{ h. } 99,$$

soit environ 4 heures au lieu d'une heure.

De plus, le degré du vide au condenseur serait certainement plus grand qu'avec de l'eau ordinaire et le rendement de la machine se trouverait par suite sensiblement amélioré. — Nous donnerons plus tard la description d'un *aéro-condenseur* dans lequel les dernières portions de la vapeur affluente sont condensées par l'action réfrigérante de la glace, car c'est par une combinaison de ce genre que l'on arrivera très-probablement à résoudre le problème de la condensation à bord des navires aériens.

[redacted]

Machines à gaz.

Bien que dans notre système d'aérostat l'emploi d'une hélice actionnée par une machine ne soit pas indispensable, nous avons cru utile d'entrer dans les considérations qui précèdent, afin de fixer les idées sur la possibilité de développer une force suffisante pour lutter contre un vent modéré, dont la vitesse ne dépasserait pas, par exemple, 10 mètres par seconde, ce qui permettrait aux aéronautes de sortir presque tous les jours de l'année avec la certitude de revenir à leur point de départ.

Si nous nous en rapportons au compte rendu de l'ouvrage de M. Wellner par M. Gotendorff, nous voyons, en effet, qu'il a été observé, durant une période de 10 ans, que pendant :

82	jours la vitesse du vent n'a pas dépassé...	4 m.	par seconde
234	jours 1/2..................................	10	»
38	jours..	19	»
1/2	jour..................[vent d'orage]......	40	»

A Vienne la vitesse moyenne du vent pendant l'année 1871 n'a pas dépassé 2 m. 23 par seconde.

Il résulte encore des expériences faites à Chalais avec un anémomètre enregistreur installé au-dessus du plateau de Châtillon et élevé au sommet d'un mât de 28 m. de hauteur qu'un ballon dirigeable ayant une vitesse de 12 m. 50 pourrait évoluer dans tous les sens 815 fois sur 1000, et qu'il pourrait remonter le vent avec une vitesse de 2 m. 50 par seconde au minimum 708 fois sur 1000 (Revue de l'*Aéronautique* de janvier 1888). Prenant ceci comme définition, dit M. Renard, nous pouvons énoncer le résultat suivant : *La conquête de l'air sera chose pratiquement résolue le jour où l'on*

aura construit un ballon dirigeable ayant une vitesse moyenne de 12 *m.* 50 *par seconde* (45 *kilomètres à l'heure*) *et pouvant soutenir cette vitesse pendant toute une journée, c'est-à-dire pendant* 10 *à* 12 *heures.*

— Pour le choix du moteur, nous avons pensé qu'il n'était pas sans intérêt de faire ressortir les nombreux avantages que présente l'emploi de la vapeur pour la mise en mouvement de l'hélice aérienne ; mais si nous avons été amenés à rejeter l'usage des moteurs électriques, nous ne saurions être aussi explicites en ce qui concerne l'application des moteurs à gaz ou à pétrole à la navigation aérienne (1).

(1) L'opinion que nous avons émise sur la valeur des aérostats électriques est d'ailleurs partagée par plusieurs personnes compétentes ainsi que le montre l'extrait suivant d'un article paru en 1886 dans l'*Année Scientifique et Industrielle* de *Louis Figuier*, à propos des expériences faites par le capitaine Renard, le 25 août 1885.

« — Au point de vue purement mécanique, l'appareil produisant la « direction des ballons nous paraît acquis, grâce aux capitaines Renard « et Krebs, qui ont fait une heureuse synthèse des dispositions imaginées « et employées avant eux par Giffard, Dupuy de Lôme et les frères Tis« sandier. Mais il est temps de poser une réserve à l'approbation gé« nérale avec laquelle on a acueilli les expériences aérostatiques des « capitaines de Meudon. Il est temps de dire que, si l'appareil directeur « est trouvé, le moteur est encore à découvrir, et que, par conséquent, « le problème général de la direction des aérostats n'est point ré« solu.

« En effet, qu'on le comprenne bien, le moteur qui doit actionner le « ballon n'est toujours qu'un moteur électrique. Or le moteur électrique « a une action d'une durée si courte qu'on ne peut réellement le consi« dérer comme une force. Le moteur employé par les capitaines de Meu« don, ainsi que par les frères Tissandier, est animé par le courant élec« trique engendré par une pile au bichromate de potasse. Mais un tel « courant dure à peine 4 à 5 heures. Au bout de ce temps, toute action « s'arrête : il faut descendre. C'est pour cela que les aéronautes de Meu« don n'ont jamais pu faire un voyage de plus de 5 ou 6 heures. Peut« on prendre au sérieux une puissance motrice qui dure si peu de temps ? « En mécanique, une puissance qui ne dure pas n'est pas une puis« sance : c'est un effort momentané ; mais, la durée lui faisant défaut, « on peut lui refuser le nom de force proprement dite. A ce point de « vue, le moteur de Dupuy de Lôme, qui consistait simplement dans

Bien que le poids d'une machine à gaz par force de cheval soit sensiblement plus grand que celui d'une ma-

« les bras de quelques ouvriers, embarqués avec l'aéronaute, était supé-
« rieur au moteur électrique, simple jouet qui s'arrête, épuisé, au bout
« de quelques heures.
« Si donc l'appareil directeur des ballons est aujourd'hui trouvé, le
« moteur fait encore défaut, et c'est vers cet objet que devront se diriger
« les efforts des inventeurs.
« Selon nous, un seul moteur répondrait jusqu'ici aux conditions du
« problème, c'est-à-dire donnerait à la fois puissance et durée : c'est la
« machine à vapeur. Seulement il faut chercher à disposer le foyer de ma-
« nière à ne pas mettre le feu au gaz combustible renfermé dans l'aérostat.
« Le moyen est difficile sans doute, mais il n'est pas au-dessus des res-
« sources de l'art, puisque, il y a plus de trente ans, l'intrépide Giffard
« traversa les airs dans un ballon poussé par une machine à vapeur.
« Giffard a montré un exemple que les aéronautes n'ont qu'à suivre,
« s'ils veulent réellement créer la navigation aérienne. Si l'on continue
« à faire promener dans les airs, pendant une après-midi, des ballons
« dirigeables électriques, on amusera les badauds, mais on ne fera pas
« avancer la question d'un pas.
« Tel est du moins notre humble avis. Que l'on nous pardonne notre
« sincérité.

— Dans l'Annuaire suivant, l'auteur, revenant sur cette question, s'exprime de la façon suivante :

« On s'occupe un peu partout d'études aérostatiques. Nous disions,
« dans le dernier volume de cet Annuaire, à propos du ballon dirigeable
« électrique de l'établissement national de Meudon, que le seul moteur
« qui serait applicable, selon nous, à la navigation aérienne, avec direc-
« tion, serait la machine à vapeur. C'est une véritable déception qu'on
« se prépare en persévérant à faire usage, pour naviguer dans les airs,
« du moteur électrique, dont la puissance est si médiocre et si peu du-
« rable. Un seul moteur réunit, disions-nous, la puissance et la durée
« dont il faut disposer pour actionner un ballon flottant dans l'atmos-
« phère : c'est la machine à vapeur. Cette vérité commence à être com-
« prise, non en France, où les directeurs de l'usine aérostatique militai-
« re de Meudon persistent à faire usage du moteur électrique, et, par
« suite de cette erreur radicale, ne font pas le plus petit progrès et ont
« cessé d'occuper l'attention publique, mais bien à l'étranger. En Russie,
« on paraît s'occuper sérieusement d'appliquer la machine à vapeur à la
« propulsion des aérostats. Le général Boreskoff a envoyé à M. Gabriel
« Yon, aéronaute de Paris, l'ordre de faire commencer la construction d'un
« ballon dirigeable à vapeur, d'après le système proposé par cet ingé-
« nieur aéronaute. Les travaux seront exécutés à l'ancienne usine Flaud,
« au Champ de Mars, où l'on a élevé un hangar pour abriter l'appareil
« pendant la durée du gonflement et les expériences d'essais, qui seront
« exécutées à Paris avant de l'être à Saint-Pétersbourg.

chine à vapeur, nous pensons qu'il ne faut pas attacher trop d'importance à cette circonstance, car la machine n'exige pas de chaudière, ce qui est grandement à considérer. Comme pour les machines à vapeur, il serait probablement possible de réduire beaucoup ce poids en augmentant la vitesse.

Il est parfaitement absurde de chercher à établir le poids d'un moteur à gaz aérostatique en se basant sur celui d'un moteur industriel avec son volant et tout son attirail en fonte. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer, par exemple, le poids d'un moteur Brotherhood qui pèse à peine quelques kilogrammes, à celui d'une machine à balancier de même force qui en pèse des centaines.

Le gaz nécessaire à l'alimentation de la machine serait puisé directement dans le ballon, et l'on remédierait à l'alourdissement résultant de la consommation du gaz et des pertes à travers l'enveloppe, en laissant écouler hors de la nacelle une partie de l'eau nécessaire au refroidissement du cylindre moteur.

Pour une machine consommant 1 mètre cube de gaz d'éclairage, il suffirait, pour conserver la force ascensionnelle de l'aérostat, de laisser écouler environ 0 kilo 65 d'eau par cheval et par heure, en admettant qu'il n'y eût pas d'autres pertes de gaz, et que la force ascensionnelle du gaz employé fût de 0 k. 650 par mètre cube.

L'alourdissement serait donc presque insignifiant; ce qui constitue un avantage sérieux à l'actif des moteurs à gaz. Si l'on faisait usage d'une machine à condensation, il faudrait, en effet, compter sur une consommation d'au moins 1 kilo de combustible par cheval et par heure, et laisser échapper 1 m. c. 5 de gaz pour maintenir l'équilibre de l'aérostat ; de sorte que, pour un même

[redacted]

travail, le volume du gaz faisant équilibre au poids du combustible emporté serait 1,5 fois plus grand que celui qui serait nécessaire pour alimenter une machine à gaz.

Avec une machine à vapeur *sans condensation*, ce volume de gaz serait d'environ $\frac{17}{0,65}$ = 26 m. c. 15, puisqu'il faudrait ajouter le poids de la vapeur consommée par la machine au poids du combustible brûlé. Mais, au lieu de laisser échapper le gaz dans l'atmosphère, il conviendrait alors d'en utiliser une partie pour le chauffage du générateur. Il suffirait pour cela de disposer convenablement le foyer de la chaudière, et nous indiquerons plus loin une disposition très-simple permettant de réaliser ce genre de chauffage.

M. Giffard a déjà eu, d'ailleurs, cette pensée ; car nous lisons dans la brochure que M. Tissandier a publiée sur l'application de l'Electricité à la Navigation aérienne que « M. Henri Giffard, dans son grand projet, évitait quel- « ques-uns de ces inconvénients de la machine à vapeur, « par divers procédés des plus remarquables et des plus « ingénieux. Il se promettait de munir la machine à va- « peur d'un condenseur à grande surface, et de liquéfier la « vapeur d'eau dégagée de la chaudière, afin de recueillir à « nouveau et d'utiliser presque indéfiniment le même li- « quide. Il voulait enfin chauffer la chaudière, avec le gaz « hydrogène pur du ballon lui-même, dont une partie, on « le sait, se perd pendant l'ascension, par le fait de l'aug- « mentation de volume déterminée par la diminution de « pression avec l'altitude. Employant l'hydrogène pur « comme combustible, M. Giffard formait par la combus- « tion, de la vapeur d'eau qu'il pouvait encore condenser « et recueillir à l'état liquide. »

M. Henri Giffard avait également projeté la construction d'un aérostat de 50,000 mètres cubes, muni d'un mo-

teur alimenté par deux chaudières, dont l'une devait être chauffée par le gaz du ballon et l'autre par le pétrole, afin que les pertes du poids et de la force ascensionnelle de l'aérostat puissent s'équilibrer.

Cette idée a été reprise par M. Gabriel Yon, ancien collaborateur de Giffard en 1855 et de Dupuy de Lôme en 1872, dont nous croyons devoir citer ici le projet d'aérostat en raison des particularités intéressantes qu'il présente et de la grande expérience de l'auteur en fait de constructions aéronautiques [voir dans l'ouvrage de M. H. de Graffigny sur la Navigation aérienne et les Ballons dirigeables, la description des deux projets que M. Yon a fait connaître en 1880 et 1886].

Comme on le voit, M. Giffard visait surtout le chauffage du générateur au moyen du gaz du ballon ; mais nous pensons néanmoins que les moteurs à gaz pourraient fournir de bons résultats si l'on faisait usage du gaz d'éclairage pour le gonflement de l'aérostat. Avec l'hydrogène, au contraire, il serait préférable de se servir d'une machine à vapeur, par la raison bien simple qu'il faudrait consommer un volume double de ce gaz pour obtenir le même effet qu'avec le gaz d'éclairage.

Vitesse et poids de l'hélice aérienne.

Nous avons vu précédemment que le poids de la machine à vapeur employée par M. Giffard ne ressortait pas à plus de 17 kilos par cheval, bien que sa vitesse ne dépassât pas 110 tours par minute ; mais il est certain que le célèbre ingénieur aurait pu descendre encore au-dessous de ce chiffre en augmentant le nombre de tours de l'hélice, ce qui ne peut qu'être avantageux, tant au point de vue du rendement qu'à celui de la diminution du poids de cet organe.

Les dimensions exagérées que l'on a données jusqu'à ce jour à l'hélice aérostatique n'ont, en effet, aucune raison d'être, et nous préférerions de beaucoup voir employer une ***hélice métallique*** de 2 m. à 2 m. 50 de diamètre, d'un pas très faible et ***conduite directement*** par un moteur Brotherhood, ou autre, faisant par exemple 1000 tours à la minute comme dans les torpilles Whitehead(1).

Sans vouloir entrer dans des considérations théoriques qui nous entraîneraient trop loin, nous ferons simplement remarquer que, dans la marine, la vitesse de l'hélice est presque toujours portée à 200 et même 300 tours par minute, toutes les fois que le système de la machine le permet. MM. Giffard et Tissandier n'avaient donc aucun intérêt à limiter à 110 ou 160 tours la vitesse de leur hélice, qui se trouvait plongée dans un milieu 800 fois moins dense que l'eau.

Quant aux vitesses de 21 et 46 tours données par M. Dupuy de Lôme et par MM. Renard et Krebs, nous ne voyons pas bien la raison qui a pu conduire ces messieurs à adopter une vitesse aussi faible, surtout pour l'aérostat de Meudon qui était muni d'une machine dont la vitesse de rotation dépassait probablement 3,000 tours à la minute.

Le diamètre de l'hélice à deux ailes employée par

(1) D'après M. Tissandier le moteur à air comprimé des torpilles Whitehead, formé d'une machine Brotherhood à trois cylindres, fait tourner une hélice à 900 tours par minute et produit de 40 à 50 chevaux, sous le poids de 16 kilogrammes ; la machine fonctionne pendant trois minutes en dépensant 12 kilogrammes d'air comprimé à 75 atmosphères dans un réservoir de 260 litres, dont le poids n'est pas indiqué. Il résulterait donc de ces chiffres que si l'on fait abstraction des générateurs, le poids d'un moteur Brotherhood ressortirait à environ 0 k. 40 par force de cheval, et serait par suite 100 fois plus léger que celui des machines dynamo-électriques, système Ayrton et Perry, qui ont la réputation d'être extrêmement légères et peuvent, paraît-il, fournir un travail de 37 kilogrammètres sous un poids de 18 kilogrammes.

M. Dupuy de Lôme était de 9 m. et celui de l'hélice de l'aérostat de Meudon a été évalué par M. Tissandier à environ 7 m. ; tandis que le diamètre de l'hélice de M. Giffard ne dépassait pas 3 m. 40 et celui de l'hélice de M. Tissandier 2 m. 80.

Si nous comparons maintenant les poids de ces différentes hélices, nous voyons que le poids de l'hélice de M. Dupuy de Lôme était de 75 kilos [non compris l'arbre, les coussinets et le treuil destiné à la mettre en mouvement]; celui de l'hélice de l'aérostat de Meudon de 41 kilos ; et celui de l'hélice de M. Tissandier de 7 kilos seulement.

Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question et nous allons passer sans plus tarder à l'étude de notre système de navigation aérienne ; les considérations qui précèdent n'ayant d'autre but que de permettre au lecteur de se rendre compte de la valeur des différents moteurs proposés jusqu'à ce jour.

[redacted]

CHAPITRE II

Problèmes que comporte l'étude de la navigation aérienne.

Il est généralement admis aujourd'hui que le problème de la Navigation aérienne peut se résumer dans la recherche des deux propositions suivantes qui comprennent toutes les autres :

1° Trouver un moyen pratique de s'élever et de s'abaisser dans les airs sans qu'il en résulte nécessairement une perte notable de gaz ou de lest.

2° Trouver un système de propulsion dont la puissance soit assez grande pour imprimer à l'aérostat une vitesse suffisante pour qu'il puisse lutter contre un vent modéré.

Notre intention n'étant pas de discuter ici la valeur des nombreux systèmes d'aérostats dirigeables proposés depuis un siècle, et qui sont pour la plupart plus étranges les uns que les autres, nous nous appuierons simplement dans cette étude sur les résultats obtenus par M. Dupuy de Lôme.

Possibilité de s'élever et de s'abaisser dans les airs sans perte notable de gaz ou de lest.

Nons commencerons notre étude par la recherche des meilleurs moyens à employer pour obtenir des mouve-

ments de montée et de descente, car c'est peut-être là le problème le plus important de la navigation aérienne.

Il est clair, en effet, que si l'on possédait un moyen simple et pratique de s'élever et de s'abaisser à volonté dans les airs sans perte de gaz ou de lest, les aéronautes pourraient non seulement rechercher les courants les plus favorables à la marche de l'aérostat, mais encore se servir de ces augmentations et de ces diminutions de force ascensionnelle pour lui imprimer une vitesse propre considérable. Il suffirait pour cela de munir l'aérostat d'un système de plans inclinés.

Le moyen que nous proposerions d'employer pour obtenir ce résultat est d'une telle simplicité que nous sommes étonnés qu'on ne l'ait pas encore essayé, attendu qu'il consiste simplement à augmenter ou à diminuer la force ascensionnelle de l'aérostat en échauffant ou en refroidissant plus ou moins la masse gazeuse qu'il renferme, soit au moyen de *jets de vapeur*, soit en *brûlant une certaine quantité de gaz dans l'intérieur même de l'aérostat* (1).

(1) L'idée d'employer la vapeur d'eau pour le gonflement des aérostats a été émise récemment par M. George Wellner, professeur à la Haute Ecole de Brünn (Autriche). — D'après le compte-rendu de l'ouvrage de M. Wellner donné par M. Silvanus Gotendorf dans l'*Aéronaute* de février 1883, il paraitrait que l'auteur préconiserait l'emploi de la vapeur d'eau seule ou mélangée avec les produits de la combustion d'un foyer, en appareillant un ballon à parois métalliques avec une machine dont l'échappement se déverserait dans celui-ci ; ce qui, entre parenthèse, nous semble bien difficile à réaliser pratiquement, et n'a d'ailleurs qu'un rapport assez éloigné avec notre système de *ballon montgolfière* dans lequel la vapeur a simplement pour but de transmettre *aux gaz de l'aérostat* la chaleur d'un foyer placé dans la nacelle.

La force ascensionnelle de la vapeur d'eau n'étant que de 5 % moindre que celle du gaz d'éclairage, on pourrait évidemment s'en servir pour gonfler économiquement les ballons, mais l'extrême facilité avec laquelle elle se condenserait nécessiterait un appareil évaporatoire extrêmement puissant pour maintenir le gonflement de l'aérostat, et il y a lieu



[redacted]

C'est là en quoi réside principalement la nouveauté de notre système. Quant à l'idée d'augmenter la force ascensionnelle des ballons en échauffant le gaz qu'ils renferment, elle remonte à l'origine même de leur invention ; mais elle a due être abandonnée pour les aérostats proprement dits, par suite de l'impossibilité d'échauffer pratiquement le gaz au moyen d'un calorifère, que ce calorifère soit placé à l'extérieur ou à l'intérieur de l'aérostat comme dans le projet de M. Bouvet, dont nous trouvons la description dans l'ouvrage de M. de Graffigny sur la Navigation aérienne (1888).

Dans notre système de ballon dirigeable, l'aérostat se trouvera donc transformé en un *vaste condenseur* dans lequel on enverra des jets de vapeur lorsqu'on voudra s'élever dans les airs et qu'il suffira de laisser refroidir pour redescendre à une altitude moins élevée.

de se demander si le poids d'un semblable appareil ne serait pas beaucoup trop lourd.

Ne connaissant que fort imparfaitement le système proposé par M. Wellner nous croyons pouvoir, en tout cas, revendiquer l'idée d'employer la vapeur d'eau pour transmettre la chaleur d'un foyer aux gaz d'un aérostat, attendu que nous avons émis cette idée au commencement de l'année 1880, c'est-à-dire bien avant la publication de l'ouvrage en question.

M. Duponchel, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a proposé également l'emploi de la vapeur d'eau comme force motrice des aérostats [voir *Revue Scientifique* du 6 novembre 1886] et, tout en maintenant nos droits de priorité, nous sommes heureux de nous rencontrer sur ce point avec un ingénieur de la valeur de M. Duponchel. Dans le mémoire que nous avons eu l'honneur d'envoyer au Concours d'aérostation organisé en 1880 par les soins de la Société de Navigation aérienne, mémoire que la commission d'examen a bien voulu honorer d'une médaille, nous avons insisté très-longuement sur l'intérêt qu'il y aurait à obtenir la propulsion des aérostats en utilisant simplement les mouvements de montée et de descente produits par des injections de vapeur au milieu des gaz d'un *ballon montgolfière*, dont la disposition générale rappelait un peu celle qui a été adoptée par Meusnier et Dupuy de Lôme [voir l'*Aéronaute* de janvier et de mai 1887].

Force ascensionnelle produite par la condensation de 1 k. de vapeur ou par la combustion complète de 1 m. c. de gaz hydrogène. — Brûleurs à gaz ou à air.

Cherchons, pour fixer les idées, le poids de vapeur qu'il faudrait, par exemple, introduire dans le ballon de M. Dupuy de Lôme pour obtenir une force ascensionnelle supplémentaire de 10 kilos.

Le volume de l'hydrogène renfermé dans ce ballon étant de 3454 m. c., le gaz devra se dilater d'environ :

$$\frac{10}{1,3} = 7 \text{ m. c., } 7$$

pour produire ce supplément de force ascensionnelle ; et nous aurons évidemment l'équation :

$$3454 \times 0,00\,3661\ t = 7,7.$$

d'où l'on tire $t = 0^{\circ},609$.

Il faudrait donc élever la température du gaz du ballon de $0^{\circ},609$, et la production de cette élévation de température exigerait :

$$3454 \times 0,09 \times 3,409 \times 0^{\circ},609 = 645,3 \text{ calories.}$$

Un kilogramme de vapeur d'eau à 5 atmosphères de pression renfermant d'après Regnault :

$$605,5 + 0,305 \times 152^{\circ},22 = 654 \text{ calorie.}$$

entièrement utilisables pour le chauffage du gaz, on voit qu'il suffirait d'introduire dans le ballon un peu moins de 1 kilo de vapeur d'eau pour produire une augmentation de force ascensionnelle de 10 kilos.

Il en résulte que 1 kilo de combustible pourrait fournir une force ascensionnelle d'environ 80 kilos, en admettant que la chaudière pût donner 8 kilos de vapeur par kilogramme de combustible, ce qui s'obtient couramment dans l'industrie avec du coke ou du charbon.



[redacted]

En d'autres termes, on pourrait, en brûlant 1 kilo de charbon, obtenir le même effet qu'en jetant 80 kilos de lest. (1)

La force ascensionnelle de 80 kilos que nous venons de trouver resterait d'ailleurs sensiblement la même, si la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau devait produire la dilatation de l'air ou de tout autre gaz ; résultat assez curieux qui tient uniquement à ce que le *produit de la capacité calorifique d'un gaz par sa densité est un nombre constant.*

Un autre moyen très-simple, que l'on pourrait employer concurremment avec le premier, consisterait à utiliser la chaleur produite, s'il était permis de s'exprimer ainsi, par la *combustion de l'air* dans l'hydrogène ou le gaz d'éclairage. Cette combustion se ferait très-simplement en envoyant, au moyen d'un tuyau spécial, une certaine quantité d'air au milieu du gaz qui remplit le ballon, et en produisant l'inflammation avec l'étincelle électrique, ou, plus simplement encore, au moyen d'une petite flamme brûlant constamment à l'intérieur de l'aérostat et jouant le rôle d'allumoir.

La combustion d'un corps n'étant, en somme, que la combinaison chimique de deux corps s'effectuant à haute température, il n'y a, en effet, aucune raison qui s'oppose à ce que la combinaison de l'oxygène de l'air avec un gaz combustible se fasse dans ces conditions.

(1) Ce chiffre de 80 kilos serait un peu moins élevé, si le système de l'aérostat ne comportait pas l'emploi d'une hélice motrice actionnée par une machine à vapeur, car il y aurait alors avantage à se servir d'une chaudière construite très-légèrement et donnant de la vapeur à *basse pression* ; mais la différence serait insignifiante au point de vue du poids du combustible brûlé.

L'air ou l'oxygène nécessaire à la combustion serait contenu dans un petit ballon disposé de façon à pouvoir lui donner une pression assez grande pour qu'il puisse pénétrer dans l'aérostat. Cette pression serait obtenue au moyen d'un simple soufflet ou d'un ventilateur analogue à celui dont M. Dupuy de Lôme s'est servi pour remplir le ballonnet de son aérostat. Au moment où l'on voudrait dilater le gaz de l'aérostat, il serait inutile de faire fonctionner ce ventilateur que l'on pourrait par suite utiliser pour remplir rapidement le petit ballon à air destiné à alimenter le brûleur.

L'emploi d'un ballonnet spécial n'est pas du reste indispensable avec notre système d'aérostat, et nous indiquerons plus loin une disposition permettant de faire arriver l'air ou l'oxygène jusqu'au brûleur en utilisant simplement la *pression exercée par le gaz au sommet de l'aérostat.*

— La puissance calorifique de l'hydrogène étant de 34.462 calories et le volume occupé par 1 kilo de ce gaz de 11 m. c. 172, il en résulte évidemment que la combustion de 1 m.c. d'hydrogène produira :

$$\frac{34.462}{11.172} = 3.085 \text{ calories}$$

correspondant à une force ascensionnelle de :

$$10 \times \frac{3.085}{645,3} = 47 \text{ kilos } 81.$$

puisque nous venons d'établir qu'il fallait 645,3 calories pour produire 10 kilos de force ascensionnelle, quelle que soit la nature et le volume du gaz échauffé.

Pour obtenir la combustion complète de chaque mètre cube d'hydrogène, il faudra introduire 2 m. c. 403 d'air atmosphérique renfermant 1 m.c. 903 d'azote et 0 m. c. 500 d'oxygène. De sorte qu'en représentant par 0,611 la force ascensionnelle de l'azote introduit et



[redacted]

par o kilo 83 le poids de l'eau de la combustion, nous voyons que l'on pourra théoriquement compter sur une force ascensionnelle supplémentaire de :

$$47,81 + 0,611 - 1,2 - 0,83 = 46 \text{ ks. } 381.$$

— L'extrémité du tuyau amenant l'air au brûleur sera garnie d'un certain nombre de toiles métalliques destinées à empêcher la combustion de se propager jusque dans le tuyau d'arrivée. Quant au brûleur, il sera suspendu à la soupape ou aux parois du ballon au moyen de fils de fer, ainsi que nous le montrerons plus tard.

— Un troisième procédé, permettant d'arriver au même résultat, consisterait à échauffer l'air contenu dans l'aérostat en aspirant une partie du gaz pour l'envoyer ensuite dans un brûleur placé dans le réservoir d'air.

Quantité de chaleur nécessaire pour élever un mètre cube d'un gaz quelconque à la hauteur d'un mètre. — Poids de vapeur ou volume de gaz correspondant.

Pour simplifier le calcul de la force ascensionnelle supplémentaire qu'il faudrait donner à un ballon pour qu'il atteignît une hauteur déterminée, nous croyons utile de donner ici le poids de vapeur qu'il faudrait dépenser pour élever à 1 m. de hauteur chaque mètre cube du gaz qui s'y trouve renfermé, en supposant que le ballon soit en équilibre dans l'atmosphère au moment où l'on injectera la vapeur.

Pour une élévation de 1000 mètres la formule de Babinet :

$$X = 16.000 \left[1 + 2 \frac{T + t}{1000}\right] \frac{Po - P}{Po + P}$$

donnerait en faisant $T = 25°$ et $t = 10°$, c'est-à-dire en

supposant que la température s'abaissât en moyenne de 15° pour une élévation de 1000 mètres,

$$1000 = \frac{16.000\,(1000 + 70)\,(10.333 - P)}{1000\,(10.333 + P)}$$

d'où l'on tire P = 9193 kilos.

— Le travail de détente que devra accomplir la masse gazeuse totale (gaz et air) renfermée dans le ballon pour passer de la pression initiale $P_0 = 10.333$ kilos à la pression P = 9.193 kilos, c'est-à-dire pour s'élever à la hauteur de 1.000 m. c. est donné par la formule.

$$T_i = 2{,}3026\, P_0\, V_0 \log \frac{P_0}{P}.$$

Pour le ballon de M. Dupuy de Lôme, ce travail sera donc égal à :

$$T_i = 2{,}3026 \times 10.333 \times 3454 \log. \frac{10.333}{9.193} = 4.172.050$$

kilogrammètres, et le nombre de calories nécessaire pour produire ce travail à :

$$\frac{4.172.050}{425} = 9817 \text{ calories.}$$

puisqu'une calorie équivaut environ à 425 kilogrammètres.

Cette quantité de chaleur correspondant à :

$$\frac{9.817}{606.5 + 0{,}305 \times 100} = 15 \text{ kilos } 41$$

de vapeur à la pression atmosphérique, on voit que pour élever un mètre cube d'hydrogène à la hauteur de 1 m., il faudra dépenser :

$$\frac{9817}{3.454 \times 1000} = 0{,}002842 \text{ calories.}$$

ou

$$\frac{15{,}41}{3454 \times 1000} = 0 \text{ k. } 000004462 \text{ de vapeur.}$$

Ce chiffre restera le même quelle que soit la nature du gaz employé, et il suffira de le multiplier par un coefficient convenablement choisi dépendant du refroidissement extérieur pour calculer approximativement la quantité de vapeur qu'il faudra lancer dans le ballon ou le

[redacted]

volume d'hydrogène qu'il faudra brûler pour atteindre une hauteur déterminée.

Le volume d'hydrogène qu'il faudrait dépenser pour élever 1 m. c. de gaz à la hauteur d'un mètre serait égal à :

$$\frac{0.002842}{3045} = 0 \text{ m. c. } 0000009212$$

Identité du travail de détente absorbé pour élever un aérostat à une hauteur donnée et le travail qu'il faudrait dépenser pour élever à la même hauteur un poids égal au poids absolu de cet aérostat.

Il est assez curieux de constater que les 4172050 kilogrammètres qui représentent le travail de détente de la masse gazeuse contenue dans le ballon de M. Dupuy de Lôme, correspondent précisément à celui qu'il faudrait développer pour élever à 1000 mètres un poids égal au poids absolu de cet aérostat. On a en effet :

Poids de l'air déplacé par l'aérostat..	3799 k.
Poids de l'hydrogène 3454 × 0,09 =.	310 k. 86
Total.............	4109 k. 86

ce qui donne un travail de :

$$4109{,}86 \times 1000 = 4.109.860 \text{ kilogrammètres.}$$

La différence de 62190 kilogrammètres entre ces deux travaux est tout à fait insignifiante et tient uniquement à ce que nos chiffres ne sont pas rigoureusement exacts.

Si l'on voulait plus d'exactitude, il conviendrait en outre de tenir compte des variations qu'éprouve la gravité à diverses altitudes et sous des latitudes différentes.

Calcul du travail qu'il faut dépenser pour obtenir une vitesse déterminée.

Nous allons calculer maintenant le travail qu'il faudrait

développer pour imprimer à un ballon de la dimension de celui de M. Dupuy de Lôme, une vitesse moyenne de 5 m. par seconde jugée suffisante pour donner de l'action au gouvernail et lutter au besoin contre un vent modéré.

Ce travail nous sera donné par la formule : $T_u = K\ B^2\ V^3$, admise dans la marine, et dans laquelle K est un coefficient dépendant de la forme du navire et de la nature des surfaces en contact, B^2 la section du maître couple immergé et V la vitesse.

L'expérience seule permettrait de déterminer pour chaque ballon, la valeur exacte du coefficient K ; mais nous pensons cependant que l'on arrivera toujours à une valeur assez approchée en prenant pour K la valeur qui conviendrait si le ballon se mouvait dans l'eau, et en multipliant ce nombre par la densité δ de l'air ; de sorte que la formule deviendra : (1).

$$[1]\ T_u = \delta\ K\ B^2\ V^3.$$

(1) Dans le mémoire que nous avons envoyé au Concours organisé en 1880 par la Société française de Navigation aérienne, nous nous sommes attachés à démontrer l'avantage qu'il y aurait à employer cette formule, en se basant, pour la détermination du coefficient K, sur les résultats obtenus par M. Dupuy de Lôme.

Cette manière d'évaluer le travail résistant de l'air parait avoir été adoptée également par MM. Renard et Krebs pour le calcul de leur aérostat, car nous lisons dans le mémoire qu'ils ont présenté à l'Académie des Sciences, le 18 août 1884, que :

« L'évaluation du travail nécessaire pour imprimer à l'aérostat une « vitesse donnée a été faite de deux manières.

« 1° En partant des données posées par M. Dupuy de Lôme et sensi« blement vérifiées dans son expérience de février 1872 ; 2° En appli« quant la formule admise dans la marine pour passer d'un navire connu « à un autre de formes très peu différentes et en admettant que, dans le « cas du ballon, les travaux sont dans le rapport des densités des deux « fluides.

« Les quantités indiquées en suivant ces deux méthodes concordent « à peu près..., etc. »





Aérostat de M. Dupuy de Lôme. — Travaux de Meusnier.

Avant d'établir la valeur moyenne qu'il convient d'adopter pour le coefficient K, nous croyons utile de donner ici la description sommaire du ballon de M. Dupuy de Lôme.

Quant à la méthode, assez compliquée, qui a été suivie par le savant ingénieur pour déterminer le travail absorbé par la marche de l'aérostat, nous ne saurions mieux faire que de renvoyer le lecteur au mémoire lu à l'Institut le 17 octobre 1870, ce document contenant tous les renseignements désirables.

Les chiffres de M. Dupuy de Lôme s'étant trouvés vérifiés par l'expérience, nous les considérerons comme définitivement acquis, d'autant plus qu'ils concordent assez bien avec les résultats obtenus par MM. Tissandier frères et par MM. Renard et Krebs.

— La principale originalité du ballon de M. Dupuy de Lôme consistait dans l'emploi d'un ballonnet, placé à la partie inférieure de l'aérostat, dans lequel on insufflait de l'air au moyen d'un tuyau Q en communication avec un ventilateur placé dans la nacelle.

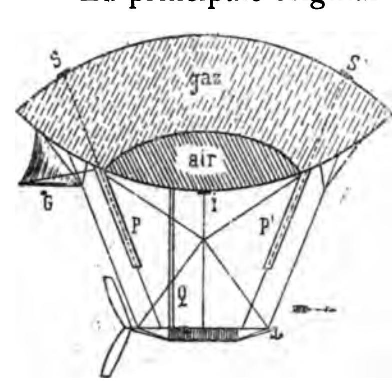


Fig. 5.

Une soupape automatique I s'ouvrant de dedans en dehors et maintenue fermée par un ressort en caoutchouc était conçue de telle sorte que si l'on insufflait trop d'air dans le ballonnet, cet air en excès faisait ouvrir

la soupape et s'échappait avant que le gaz du ballon n'acquît une pression assez grande pour être refoulé jusqu'à l'extrémité des pendentifs P et P' ouverts par le bas, afin que le gaz puisse s'échapper librement, ainsi que cela avait lieu par exemple au commencement de l'ascension, alors que le ballon porteur étant entièrement

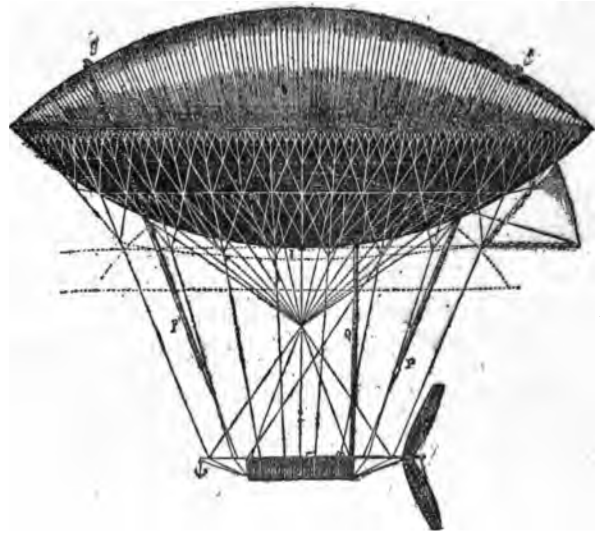


Fig. 6. — Aérostat à hélice de M. Dupuy de Lôme, expérimenté le 2 février 1872.

rempli d'hydrogène, la surface supérieure du ballonnet à air venait se rabattre sur la surface inférieure de l'aérostat.

Le gaz continuait ainsi à s'échapper jusqu'à ce que le ballon eût atteint le point culminant de l'ascension ; mais pendant les descentes il devenait nécessaire d'envoyer de l'air dans le ballonnet pour compenser les diminutions de volume résultant de la contraction de l'hydrogène et maintenir la permanence de la forme de l'aérostat.

Lorsque le ballon recommençait à monter, la dilatation du gaz avait simplement pour effet de chasser une partie de l'air du ballonnet sans qu'il y eût de perte de

gaz par les péndentifs, mais il était évidemment indispensable de recourir aux soupapes pour descendre.

Le ballonnet de l'aérostat de M. Dupuy de Lôme ayant une capacité de 345 m. c. 40, il était essentiel de ne pas dépasser l'altitude à laquelle la quantité de gaz perdue ramenée à la pression de 0,76 aurait atteint précisément ce volume de 345 m. c. 40. — Aussi M. Dupuy de Lôme avait-il eu le soin de dresser d'avance un tableau des pertes éprouvées à toutes les hauteurs, et il résultait de ce tableau qu'une altitude de 866 mètres correspondait à une déperdition de 345 m. c. 40 d'hydrogène ; de sorte que pour regagner le sol dans un état de gonflement complet, l'aérostat ne devait pas dépasser l'altitude de 866 mètres.

La nacelle était maintenue en équilibre par rapport au ballon au moyen d'un filet spécial, distinct du filet porteur, que l'éminent ingénieur a appelé *filet à balancines.* C'est grâce à ce double filet que l'on a pu établir une solidarité complète entre le ballon et la nacelle.

La partie supérieure du ballon était recouverte d'une simple chemise, afin d'éviter le capitonnage produit par un filet ordinaire et diminuer ainsi la résistance opposée par l'air à la marche de l'aérostat.

L'hélice motrice était mise en mouvement par une équipe de 8 hommes et se trouvait placée à l'arrière de la nacelle, ce qui, à notre avis, était une erreur qui explique en partie les embardées que M. Dupuy de Lôme attribue dans son mémoire à l'inexpérience du timonier.

— Le filet à balancines est, avec le ballonnet à air, la partie de l'appareil qui porte plus spécialement l'empreinte du talent de M. Dupuy de Lôme. La stabilité d'un aérostat de forme allongée est, en effet, extrêmement importante à réaliser, car il a toujours tendance à

se dresser verticalement, surtout lorsqu'il se trouve ***partiellement dégonflé.*** Cet effet se produisit avec une grande intensité lors de l'expérience que M. Giffard fit en 1855, et faillit même coûter la vie au vaillant ingénieur.

D'après le rapport de la commission chargée d'examiner les résultats obtenus par M. Dupuy de Lôme, il paraîtrait qu'au moment de la descente, le ballon de M. Giffard, diminuant de volume, s'inclina de plus en plus en approchant de la terre. Son inclinaison était telle, à 200 m. du sol, que le gaz sortait en raison de sa légèreté spécifique par l'appendice qui alors n'était plus placé assez au-dessous. On fut obligé de jeter tout par-dessus bord pour atterrir sans accident, et au moment où l'on touchait terre le ballon avait une inclinaison si prononcée qu'il put sortir de son filet, qui tomba sur la tête des aéronautes.

— Le ballonnet compensateur de M. Dupuy de Lôme avait surtout pour but d'éviter le dégonflement partiel de l'aérostat ; mais il est facile de voir que les pertes de gaz continuaient à se produire jusqu'à ce que le ballon eût atteint l'altitude maxima qu'il ne devait pas dépasser et que, chaque fois que l'on voulait descendre à une altitude moins élevée, il devenait nécessaire de recourir à la soupape ; de sorte que si l'on avait voulu faire un grand nombre de montées et de descentes, le volume du gaz renfermé dans l'aérostat serait devenu insuffisant et le ballonnet aurait été impuissant à rétablir la permanence de la forme de l'aérostat au moment de la descente.

A ce point de vue, nous préférerions de beaucoup la solution qui avait été proposée par Meusnier dans son remarquable mémoire *sur l'équilibre des machines aérostatiques, sur les différents moyens de les faire descendre*



[redacted]

et monter, *et spécialement sur celui d'exécuter ces manœuvres sans jeter du lest et sans perdre de gaz inflammable en ménageant dans le ballon une cavité particulière destinée à contenir de l'air atmosphérique* [voir le rapport de Marey-Monge sur l'appareil de Meusnier].

— Si nous nous en rapportons à l'intéressant rapport qui a été fait par M. Miret sur l'*Aérostation à l'Exposition de* 1878, le ballon construit par les frères Robert sur les plans de Meusnier avait l'aspect d'un *énorme poisson* et était pourvu d'*une poche à air* suspendue dans la grande enveloppe, et communiquant, au moyen d'un tube, avec une *pompe foulante* placée dans la nacelle.

Grâce à ce système, les aéronautes devaient, suivant Meusnier, pouvoir s'élever et s'abaisser aussi souvent qu'ils le désireraient sans avoir recours ni au lest, ni à la soupape. Quand ils voudraient descendre, ils n'auraient qu'à manœuvrer la pompe de façon à comprimer une certaine quantité d'air dans la poche ; pour monter, il suffirait de laisser celle-ci communiquer librement avec l'extérieur et l'air comprimé se dégagerait.

Comme on le voit, l'idée de Meusnier consistait simplement à obtenir des mouvements de montée et de descente rien qu'en faisant varier au moyen d'une compression plus ou moins forte *la densité moyenne* des gaz qui remplissaient l'aérostat sans qu'il fût nécessaire de perdre pour cela une certaine quantité de gaz ou de lest comme dans l'appareil de M. Dupuy de Lôme qui ignorait, dit-on, les travaux de Meusnier lorsqu'il fut chargé de la construction d'un aérostat dirigeable (1).

(1) Les mémoires du général Meusnier étant conservés à l'école d'application de l'Artillerie et du Génie, sont restés presque ignorés de la génération actuelle. Il serait grandement à désirer que ces travaux fussent publiés dans leur ensemble, car ils ne peuvent être connus que de quelques personnes privilégiées qui les considèrent probablement comme un pur objet de curiosité.

Le système d'aérostat dont nous donnerons la description se rapproche beaucoup du système de Meusnier, et n'en diffère guère qu'en ce que les variations de densité, dont il vient d'être parlé, sont obtenues au moyen de l'échauffement ou du refroidissement plus ou moins grand de la masse gazeuse qui remplit l'aérostat, ce qui permet d'obtenir des variations de force ascensionnelle bien plus grandes que celles que pourrait donner la simple compression des gaz du ballon, cette compression se trouvant très-limitée par suite du peu de résistance que présente généralement l'étoffe d'un aérostat.

L'ascension du 15 juillet 1784 faillit d'ailleurs tourner au tragique, et il est probable que l'aérostat se serait déchiré dans les airs si le duc de Chartres n'avait réussi à percer son enveloppe avec l'un des fers de lance qui ornaient la nacelle, remédiant ainsi à l'absence de la soupape à gaz ordinaire qui avait été supprimée. Nous pensons que l'échec de Meusnier tient uniquement à l'absence d'une soupape bien équilibrée et pouvant s'ouvrir automatiquement de dedans en dehors lorsque la pression du gaz atteint la limite supérieure qu'elle ne doit pas dépasser.

Malgré l'insuccès de cette tentative, que, du reste, il n'avait *pas dirigée lui-même*, Meusnier continua longtemps encore ses études sur la direction des aérostats : « Le général Meusnier, dit à ce sujet M. le colonel Laussedat, le général Meusnier mort de ses blessures, à Mayence en 1793, à l'âge de 40 ans, avait consacré dix années de sa trop courte existence à la solution du problème si délicat de la navigation aérienne. *Il avait approché du but autant qu'on le pouvait faire de son temps.* Ses mémoires contiennent un projet d'aérostat dirigeable, dans lequel la forme allongée du ballon, l'*emploi de l'hélice* et celui du gouvernail sont non-seulement indi-

[redacted]

qués, mais élucidés, illustrés, comme on dirait aujourd'hui, par des dessins, des calculs et des devis nécessaires pour arriver à l'exécution » (1).

(1) M. Jamin, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, qui a pu, par conséquent, prendre connaissance de *l'ensemble des travaux* de Meusnier, donne la description suivante de l'aérostat projeté par cet officier distingué, description que nous croyons utile de reproduire ici, attendu qu'elle diffère sensiblement de celle de M. Miret, surtout en ce qui concerne l'emplacement donné au ballon qui renferme le gaz. [*Revue des Deux-Mondes*, janvier 1885]:

« Le ballon de Meusnier, dit M. Jamin, devait avoir deux enveloppes :
« l'extérieure forte et résistante, complètement fermée et toujours ten-
« due ; l'intérieure, plus légère et imperméable, devant contenir l'hydro-
« gène, et l'intervalle entre les deux, plein d'air, était mis en communi-
« cation par un tube avec un soufflet. — Voulait-on descendre, on y
« introduisait de l'air par pression, ce qui augmentait le poids, et,
« quand il fallait monter, on vidait au contraire cet espace intermédiaire.
« Par ce moyen, sans aucune perte de lest ou de gaz, on changeait le
« niveau jusqu'à atteindre le courant d'air convenable. Il n'est pas néces-
« saire de réfuter un pareil procédé, et cela prouve qu'il faut se garder,
« en exhumant les travaux anciens, de les exagérer, aux dépens des
« modernes, plus qu'il n'est raisonnable de le faire. »

Contrairement à l'avis de M. Jamin, nous pensons qu'il vaut infiniment mieux placer le réservoir d'air à l'extérieur du ballon-porteur au lieu de le placer intérieurement, ainsi que l'ont fait à tort MM. Dupuy de Lôme, Renard et Krebs; nous en donnerons plus loin la raison.

— D'après l'article que nous venons de citer, l'invention de l'hélice aérienne devrait être attribuée à un nommé Vallet qui réussit à traverser une rivière en faisant tourner rapidement 4 ailes de moulins à vent placées à l'avant d'un bateau. Le docteur van Hecke employa également une vis d'Archimède qui prit le nom d'hélice, lorsque Sauvage eut adapté ce nouveau mode de locomotion à un navire.

Selon nous, l'invention de l'hélice devrait être attribuée à Léonard de Vinci plutôt qu'à Vallet ou à Van Hecke. M. Hureau de Villeneuve, qui a résumé dans l'*Aréonaute* de septembre 1874 les travaux de Léonard de Vinci sur l'aviation, a donné, en effet, la description détaillée d'un *hélicoptère* imaginé au *quinzième siècle* par le grand artiste italien qui connaissait aussi les propriétés du parachute dont l'invention est attribuée généralement à Garnerin.

En 1768 Paucton, savant mathématicien français, a esquissé également le projet d'un véritable hélicoptère, qu'il désignait sous le nom de *pterophore* et qui était mû par deux hélices, l'une destinée à l'ascension et l'autre à la propulsion du système, ce qui montre, dit avec raison M. Tissandier, qu'il n'y a rien de nouveau sous le soleil !

— C'est encore à Meusnier que l'on doit l'idée de se servir des différents courants atmosphériques qui règnent dans l'atmosphère à des hauteurs variables pour arriver à diriger un aérostat dépourvu d'un appareil moteur suffisamment puissant pour lui permettre de lutter contre le vent.

— Nous terminerons cette petite revue rétrospective en disant que les idées de Meusnier furent reprises par M. Marey-Monge qui les remit en lumière dans un mémoire publié en 1847. M. Marey-Monge proposait d'employer la machine à vapeur pour actionner l'hélice d'un ballon allongé pourvu d'un gouvernail comme celui de Meusnier. Ce mémoire fit sensation; mais il n'y fut donné aucune suite, et c'est M. Henri Giffard qui eut la gloire de conduire dans les airs le premier aérostat dirigeable.

Nous reviendrons d'ailleurs sur le système de Meusnier que nous nous proposons d'employer concurremment avec les injections de vapeur pour faire varier la force ascensionnelle des aérostats.

Valeur du coefficient K. — Influence de l'altitude sur la vitesse d'un aérostat à volume constant.

Pour une vitesse de 2 m. 22 la résistance totale du ballon de M. Dupuy de Lôme se composait ainsi qu'il suit:

	Surface.	Coefficient de résistance par rapport au plan mince.	Résistance du plan mince.	Résistance totale.
	m. q.		k.	ks
Ballon sans filet....	172 à	1/30 ×	0.665 =	3.830
Nacelle..........................	3.25 à	1/5 ×	0.665 =	0.432
Saillie du corps des hommes...	3.00 à	1/5 ×	0.665 =	0.400
Tuyau à hydrogène et à air.....	6.40 à	1/5 ×	0.665 =	0.850
Petit cordonnet des filets.......	10.0 à	1/2 ×	0.666 =	3.325
Cordes fortes des suspentes et des balancines..................	9.90 à	1/3 ×	0.665 =	2.194
				11.031

Le travail accompli par l'aérostat marchant à la vitesse de 2 m. 22 par seconde ressortirait donc à :

$$11{,}031 \times 2{,}22 = 24{,}488 \text{ kilogrammètres.}$$

— En examinant les chiffres du tableau ci-dessus, on voit que la résistance due à la nacelle et à ses accessoires, ainsi qu'au filet et aux suspentes, est de beaucoup supérieure à celle du ballon supposé dépourvu de filet. Il y aurait donc un très-grand intérêt à diminuer cette résistance, et nous sommes convaincus qu'en employant des suspentes en fils de cuivre ou d'acier, on arriverait à réduire considérablement la résistance totale. Rien ne serait plus facile en outre que de diminuer le coefficient de résistance de la nacelle et de ses accessoires en lui donnant une forme pointue aux deux extrémités, ce qui s'obtiendrait facilement avec des toiles convenablement disposées.

Ce mode de construction paraît avoir été adopté par MM. Renard et Krebs, à en juger du moins par la description de l'aérostat de Meudon qui a été donnée dans l'*Aéronaute* d'octobre 1884. (Voir l'article de M. Gaston Tissandier que nous avons reproduit au chapitre 1er.)

Mais, bien que cette disposition soit fort bonne au point de vue de la diminution des résistances, nous y avons personnellement renoncé comme étant trop gênante pour les aéronautes. — Nous pensons qu'il serait préférable de se borner à donner une forme pointue à l'avant de la nacelle seulement, de façon à former une sorte d'écran préservant le corps des voyageurs contre le choc direct des filets d'air. Pour le ballon de M. Dupuy de Lôme, la résistance de la nacelle et de ses accessoires ne ressort pas d'ailleurs à plus de 0 k. 832,

et, à notre avis, il vaudrait mieux chercher à diminuer la résistance du filet et des suspentes qui est énorme.

Il est bon, en outre, de remarquer qu'il y a un certain intérêt à augmenter la résistance de la nacelle par rapport à celle du ballon, afin de diminuer l'intensité du couple déterminé d'une part par la résistance de l'air sur le ballon et de l'autre par la poussée horizontale de l'hélice, poussée qui ne peut guère être obtenue qu'à une certaine hauteur au-dessus des bords de la nacelle.

Pour détruire l'influence de ce couple perturbateur, il faudrait, en supposant que la résistance de la nacelle fût égale à celle de l'aérostat et en faisant abstraction de la résistance des cordages, que l'hélice fût placée à égale distance de l'axe horizontal du ballon et de l'axe de la nacelle ; mais, pour des vitesses modérées, l'effet en question est heureusement assez faible pour qu'il ne soit pas indispensable de placer l'hélice aussi haut.

Nous pensons qu'en faisant $K = 7$, nombre qui conviendrait à un navire de forme pleine dont la carène en bois serait assez mal entretenue, on ne serait pas éloigné de la vérité pour un aérostat *de notre système*, et c'est ce dernier chiffre que nous adopterons dans nos calculs (1).

(1) Les divergences considérables qui se produisent quand il s'agit d'évaluer la résistance de l'air tiennent surtout à la difficulté qu'éprouvent les aéronautes à maintenir l'horizontalité de l'axe de la nacelle ; si cette dernière condition se trouvait réalisée, il y a tout lieu de croire que le coefficient K d'un navire aérien se rapprocherait beaucoup des coefficients qui sont généralement adoptés dans la marine, savoir :

Pour une surface plane	55 à 60 kilos.
Pour un navire très-fin doublé en cuivre et propre	4 k. à 4 k. 50
Pour un navire très-fin avec carène en fer, peinture au minium	4 k. 60 à 5 k.
Pour un navire à forme pleine, carène doublée en cuivre et mal entretenue	6 k. à 6 k. 50

La valeur du coefficient K varie encore avec la grandeur absolue du navire, et, à égalité de forme, plus le navire est grand, moins il y a de

[redacted]

— Pour une vitesse de 5 mètres par seconde, la formule

$$[1]\ T_u = \delta\ K\ B^2\ V^3$$

appliquée à un ballon de la grosseur de celui de M. Dupuy de Lôme donnerait un travail de :

$$T_u = 0{,}001293 \times 7 \times 168 \times 5^3 = 190 \text{ kilogrammètres,}$$

soit environ 2,52 chevaux, travail qui se réduirait à

$$190\ \left(\frac{2{,}22}{5}\right)^3 = 16{,}5 \text{ kilogrammètres}$$

seulement, pour une vitesse de 2 m. 22.

Pour un aérostat construit exactement comme celui de M. Dupuy de Lôme, il conviendrait de faire K = II, ce qui donnerait un travail utile de 24 kgm. 70 pour une vitesse de 2 m. 22 ; mais il est probable que si l'hélice de M. Dupuy de Lôme n'avait pas éprouvé une résistance anormale produite par la rupture de l'un des brancards de l'avant, la valeur de K n'aurait pas été aussi élevée pour un ballon de 3454 mètres cubes.

Si l'on s'en rapportait aux résultats annoncés par MM. Tissandier frères et par MM. Renard et Krebs, la valeur de ce coefficient serait d'environ K = 10 pour l'aérostat de Meudon et de K = 11 pour l'aérostat de M. Tissandier qui ne cubait que 950 m. c. au lieu de 1864.

La valeur du coefficient K devra, d'ailleurs, diminuer sensiblement à mesure que les dimensions de l'aérostat

résistance. Ainsi, pour des embarcations de faibles dimensions, comme les chaloupes à vapeur de 13 à 14 mètres de longueur, le coefficient K varie de 8 k. à 8 k. 50.

Le rapport de la longueur à la largeur est généralement de 3 à 3 1/2 pour les navires à voiles ordinaires, et de 3 1/2 à 4 pour les clippers américains. Pour les bateaux à vapeur, on a commencé par 4 1/2 et 5, pour arriver progressivement à 6, 7 et 7 1/2. Au delà du rapport 6 il faut recourir aux constructions en fer avec lesquelles on peut arriver à des rapports de 8 et 9 entre la longueur et la largeur ; mais alors les navires ne sont plus manœuvrables.

seront plus grandes, ainsi que cela a toujours lieu pour des navires ordinaires construits sur le même type, et c'est ce qui nous a conduit à faire $K = 7$ pour un ballon sans filet d'au moins 3500 mètres cubes, muni de suspentes en fils de cuivre, et disposé de façon à utiliser convenablement la poussée ou plutôt la traction horizontale de l'hélice que nous placerons toujours de préférence à l'avant.

— En résumé, nous pensons qu'on pourra très-bien se servir de la formule [1] pour obtenir approximativement et sans calculs compliqués, la résistance qu'un ballon de forme allongée éprouverait à progresser dans l'atmosphère.

Cette formule nous montre, en outre, que la résistance de l'air *diminuera à mesure qu'on s'élèvera dans l'atmosphère*, circonstance dont il faudra tenir le plus grand compte pour le calcul des vitesses maxima que pourra atteindre un aérostat de volume invariable comme celui de M. Dupuy de Lôme.

Pour une même altitude, cette vitesse variera encore avec la température de l'air extérieur et son état hygrométrique qui peuvent modifier également la densité du fluide dans lequel se meut le ballon. Ainsi, à l'altitude de 8800 m. atteinte par Glaisher dans son ascension du 5 septembre 1862, le baromètre ne marquerait plus que 250 m/m, et la densité de l'air ambiant étant alors 3 fois moindre que sous la pression de 760 m/m, on pourrait imprimer une vitesse beaucoup plus grande à l'aérostat, sans qu'il soit besoin d'augmenter pour cela le travail développé par la machine.

Au point de vue de la vitesse, il y aurait donc avantage à s'élever à une altitude très-grande, mais à la condition cependant que le vent ne soit pas contraire, car

[redacted]

il a été reconnu que la vitesse moyenne du vent augmentait assez rapidement avec l'altitude (1).

(1) Dans l'article de la *Revue des Deux-Mondes* [janvier 1885] que nous avons déjà cité, M. Jamin conteste l'altitude de 11,000 mètres que MM. Glaisher et Coxwell prétendent avoir atteinte, et admet qu'on ne peut dépasser 8,000 mètres sans perdre ses facultés intellectuelles. Il passe ensuite en revue les travaux de M. Paul Bert sur l'emploi de l'oxygène dans les ascensions à grande hauteur et fait remarquer avec raison que la température des couches élevées de l'atmosphère n'est pas régulièrement décroissante. Il rappelle que Gay-Lussac a observé à 6,500 mètres trente-neuf degrés au-dessous de zéro, ce qui tenait à l'influence du vent.

Dans le septième chapitre de cette intéressante étude, l'auteur signale les différences de vitesse du vent à différentes altitudes et rapporte cette observation que « quand la vitesse du vent était à Greenwich de 2 mètres par seconde, elle était de 15 à 20 mètres à 7,000 mètres d'élévation. »

M. Jamin explique ensuite la théorie de la formation des vents d'après Halley et cite des observations de M. Glaisher relativement à l'humidité atmosphérique.

La connaissance des lois qui régissent la formation des vents réguliers étant très-importante au point de vue de la navigation aérienne, nous croyons devoir signaler ici les études de MM. Maury, Brault, Lartigue et Bourgeois, officiers de la marine française, ainsi que les travaux du savant allemand M. Dove sur *la rotation des vents journaliers*.

Les curieuses expériences qui ont été faites récemment par M. Rougerie, évêque de Pamiers, méritent également d'attirer l'attention des météorologistes. L'*anémogène* de M. Rougerie consiste simplement en un globe sphérique sur lequel les continents sont figurés en relief ; en lui imprimant un mouvement de rotation on détermine une série de courants d'air qui reproduisent artificiellement les grands courants atmosphériques du globe terrestre.

Quant aux courants superposés et de directions différentes que l'on rencontre souvent dans l'atmosphère, nous pensons qu'ils pourraient être utilisés par les aéronautes, mais on aurait grand tort cependant de compter d'une façon trop absolue sur l'existence de ces fleuves atmosphériques pour diriger un aérostat dans tous les sens. M. G. Tissandier affirme que sur vingt-six voyages aériens qu'il a exécutés, il n'a rencontré que cinq fois la présence de courants *inverses* dans l'atmosphère.

La recherche des courants aériens de direction convenable est d'ailleurs assez limitée, car la hauteur maxima à laquelle les aéronautes peuvent s'élever sans danger paraît être comprise entre 5 et 6,000 mètres. Pour atteindre une altitude plus grande, il faudrait que les aéronautes soient revêtus d'un scaphandre ou puissent combattre la raréfaction de l'air en s'enfermant dans une sorte de *tente-ballonnet* disposée de façon à ce que l'air puisse être facilement renouvelé au moyen d'une pompe spéciale puisant l'air extérieur et lui donnant une pression suffisante.

Poids de vapeur qu'il faudrait dépenser à l'heure pour imprimer au ballon de M. Dupuy de Lôme une vitesse de 5 m. par seconde: 1° Au moyen d'une hélice actionnée par une machine à vapeur. — 2° Au moyen d'un système de plans inclinés.

Pour évaluer la quantité de vapeur consommée par la machine, nous supposerons, ce qui peut être considéré comme exact, que le rendement de notre hélice soit le même que celui des hélices ordinairement employées dans la navigation, et nous prendrons pour base de nos calculs les résultats fournis par le vaisseau le *Napoléon* (voir le Dictionnaire de Sonnet). Dans ces expériences, vérifiées du reste par la théorie, on a constaté que le travail utile étant représenté par 1, le travail dû au recul, c'est-à-dire le travail nécessaire pour mettre l'eau en mouvement, est représenté par 0,190 et que le travail consommé par le frottement de l'eau est représenté par 0,296, ce qui donne 1,486 pour le travail moteur fourni par la machine (1).

En admettant que la machine motrice consomme 15 kilog. de vapeur par cheval et par heure, il faudrait donc dépenser théoriquement :

$$2{,}52 \times 15 \times 1{,}5 = 55 \text{ ks.}7 \text{ de vapeur}$$

pour imprimer au ballon de M. Dupuy de Lôme une vitesse de 18 kilomètres à l'heure suffisante pour lui permettre de se dévier du vent d'un angle considérable et même de suivre toute route voulue lorsque la vitesse du vent sera inférieure à 5 m. par seconde.

— Dans le cas, préférable selon nous, où l'hélice serait remplacée par des plans inclinés, le calcul de la dépense

(1) MM. Renard et Krebs évaluent le rendement de leur hélice à 0,70, chiffre un peu supérieur à celui que nous avons adopté, c'est-à-dire 0,68

de vapeur se ferait encore très-simplement en remarquant que pour les montées il suffira de donner à l'aérostat, au moyen de nos injections de vapeur, une force ascensionnelle supplémentaire assez grande pour qu'il puisse vaincre la résistance de l'air.

En supposant que l'action des plans inclinés fût parfaite, il faudrait, pour obtenir une vitesse de translation horizontale de 5 m. par seconde, développer une force ascensionnelle supplémentaire capable de produire un travail de 190 kgm. correspondant à :

$$\frac{190}{425} = 0{,}447 \text{ calories par seconde.}$$

ou 1609 calories à l'heure, ce qui pour le ballon de M. Dupuy de Lôme exigerait une dépense de :

$$\frac{1609}{637} = 2 \text{ k. } 526 \text{ de vapeur à l'heure.}$$

Dans la pratique, ce chiffre devra être sensiblement augmenté, car l'action des plans inclinés n'étant pas parfaite, le ballon suivra une ligne plus ou moins inclinée sur l'horizontale. Il en résulte que si l'on voulait obtenir une vitesse de 5 m. comptée sur l'horizontale, il faudrait imprimer à l'aérostat une vitesse plus considérable à laquelle correspondrait une augmentation notable du travail résistant, et, par suite, du poids total de vapeur dépensé.

Dans les descentes, les plans inclinés agiront sans qu'il y ait dépense de vapeur, puisque les mouvements de descente seront obtenus par le refroidissement du gaz contenu dans le ballon ; mais comme ce gaz devra être ensuite réchauffé pour que le ballon puisse remonter dans les airs, il faudra, pour produire un mouvement ascensionnel assez rapide, ajouter aux 2 kilos 526 de vapeur que nous venons de trouver, le nombre de kilogrammes de vapeur nécessaire pour que le ballon puisse atteindre a hauteur à partir de laquelle il devra redescendre.

Ainsi, si le ballon de M. Dupuy de Lôme naviguait dans un courant atmosphérique avec des mouvements de montée et de descente de 500 mètres d'amplitude et une vitesse moyenne de 5 m. comptée sur l'horizontale, il faudrait, en appelant *n* le nombre des montées faites en une heure, dépenser une quantité de vapeur égale à :

$$P = \frac{n \times 15.41}{2} + \frac{2,526}{2},$$

puisque nous avons vu tout à l'heure qu'il fallait dépenser 15 k. 41 de vapeur pour élever à 1000 m. le ballon de M. Dupuy de Lôme.

Si l'on faisait, par exemple, 10 montées et 10 descentes à l'heure, la dépense de vapeur serait de :

$$P = 5 \times 15,41 + \frac{2.526}{2} = 77 \text{ k. } 05 + 1 \text{ k.} 263 = 78 \text{ k. } 313$$

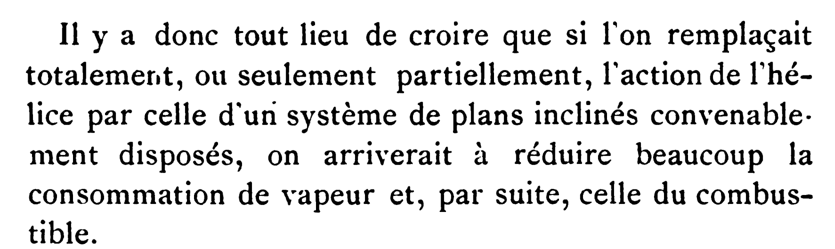
à l'heure, ce qui exigerait une consommation d'environ 10 kilos de combustible, en supposant que chaque kilogramme du combustible employé puisse produire 8 kilos de vapeur.

L'eau résultant de la condensation de la vapeur sur les parois de l'aérostat sera recueillie et pourra servir indéfiniment, de sorte que la *perte de poids* de l'aérostat se réduira simplement *au poids du combustible brûlé.*

Le principe des plans inclinés étant le même que celui des aéroplanes, qui, comme on le sait, peuvent parcourir des distances considérables sous une très-faible hauteur de chute, on voit que si ces plans fonctionnaient bien il ne serait pas nécessaire de faire un grand nombre de montées et de descentes pour imprimer à l'aérostat une vitesse de 5 m. par seconde.

La dépense de vapeur serait alors presque insignifiante, car le ballon s'élèverait *très-lentement* avec une force ascensionnelle peu supérieure à celle qui correspondrait à l'introduction de 2 kilos 526 de vapeur à l'heure.





Il y a donc tout lieu de croire que si l'on remplaçait totalement, ou seulement partiellement, l'action de l'hélice par celle d'un système de plans inclinés convenablement disposés, on arriverait à réduire beaucoup la consommation de vapeur et, par suite, celle du combustible.

Avantages et inconvénients présentés par l'emploi de l'hydrogène, du gaz d'éclairage et de l'air chaud dans un aérostat de notre système.

Si l'on élevait de 50° la température des 3454 m. c. d'hydrogène contenus dans le ballon de M. Dupuy de Lôme (lesquels correspondent à une force ascensionnelle de 3799 kilos), on obtiendrait une force ascensionnelle supplémentaire de 823 kilos. — Mais il est évident que si l'on remplaçait l'hydrogène par un volume de gaz d'éclairage capable de produire une force ascensionnelle de 3799 kilos, c'est-à-dire par

$\frac{3.799}{0,630} = 5846$ m. c. de gaz d'éclairage ordinaire,

ces 823 kilos de force ascensionnelle supplémentaire pourraient être obtenus en élevant seulement de

$$x = \frac{823}{1,3 \times 5.846 \times 0.00367} = 29^{\circ},51$$

la température du gaz renfermé dans l'aérostat.

A ce point de vue le gaz d'éclairage présenterait donc un avantage assez sérieux sur le gaz hydrogène pur, puisqu'il permettrait d'emporter pour un même excès de température une provision d'eau et de combustible beaucoup plus grande (1) ; mais il présente le grave inconvé-

(1) Dans notre système d'aérostat la force ascensionnelle supplémentaire produite par l'échauffement des gaz doit être assez grande pour faire équilibre au poids de l'eau du combustible emporté.

nient d'augmenter, par son grand volume, la résistance que l'air oppose à la marche de l'aérostat, et d'exiger une dépense de lest ou de combustible plus considérable pour élever à une hauteur donnée un ballon de même force ascensionnelle.

La formule

$$T_i = 2{,}3026\, P_o\, V_o \log. \frac{P_o}{P_i}$$

montre en effet que le travail de détente accompli par la masse gazeuse renfermée dans un ballon qui s'élève à une certaine hauteur est directement proportionnel au volume V_o de cette masse.

Il en résulte que, toutes choses étant égales d'ailleurs, la quantité de lest et de combustible qu'il faudra dépenser pour élever à une hauteur donnée un ballon rempli d'hydrogène, devra être multipliée par le rapport des densités

$$\frac{\delta}{\delta'} = \frac{V'}{V} = \frac{5848}{3454} = 1{,}577$$

toutes les fois que l'on substituera le gaz d'éclairage au gaz hydrogène (1).

(1) Nous avons supposé, dans ce qui précède, que la force ascensionnelle du mètre cube de gaz d'éclairage était de o k. 65 ; mais ce chiffre doit, bien entendu, être considéré comme une simple indication.

La densité du gaz de houille varie, en effet, dans des limites très-étendues dépendant de la nature du charbon et de la durée de la distillation.

100 kilogrammes de houille, distillée en 6 heures, donnent environ 30 mètres cubes de gaz à 12°, et c'est pendant les deux premières heures de la distillation qu'on obtient le gaz le plus riche. Il en est de la densité comme du pouvoir éclairant et de la *quantité de chaleur dégagée* par la combustion d'un *mètre cube* de gaz ; elle diminue avec la durée de la distillation ; étant par exemple de 0,63 dans la première heure, elle ne serait plus que de 0,341 à la cinquième. La densité moyenne de ce gaz serait d'environ 0,43 correspondant à une force ascensionnelle de $1{,}3 - 1{,}3 \times 0{,}43 =$ o k. 74 au lieu de o k. 65 que nous avons adopté pour la détermination du volume de notre aérostat. Si l'on désirait obtenir un gaz ayant une très-grande force ascensionnelle, il conviendrait donc de laisser perdre le gaz dégagé pendant les deux premières heures de la distillation.



Quant à l'augmentation de la résistance de l'air due à l'accroissement de volume de l'aérostat, il importe de remarquer que, pour des aérostats de même forme, la résistance croît seulement comme le carré de l'une des dimensions, tandis que le volume, et par conséquent la quantité d'eau et de combustible qu'il est possible d'emporter, augmente comme le cube de cette même dimension.

Il serait donc assez intéressant d'examiner la question à ce dernier point de vue, et de chercher de quel côté se trouve réellement l'avantage ; mais cela nous entraînerait un peu loin et nous allons passer sans plus tarder à la description de notre système de ballon dirigeable.

Nous dirons cependant que l'emploi du gaz hydrogène sera préférable toutes les fois que l'on voudra imprimer une vitesse considérable à l'aérostat, tandis que celui du gaz d'éclairage semble plutôt convenir aux voyages de longue durée, car la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un mètre cube de gaz d'éclairage, est au moins le double de celle que pourrait fournir la combustion d'un volume égal d'hydrogène.

CHAPITRE III

Conditions de stabilité d'un aérostat de forme ovoïde. — Disposition à employer pour éviter les effets produits par le déplacement des masses gazeuses.

Les conditions de stabilité d'un aérostat de forme ovoïde ont été fort bien étudiées par M. Dupuy de Lôme dans son mémoire du 17 octobre 1870; mais nous croyons utile de revenir sur cette question, car les calculs de l'éminent ingénieur se rapportent à un corps solide de forme invariable et il n'a pas été tenu compte des *déplacements* que peuvent prendre les masses gazeuses renfermées dans l'aérostat.

Ces déplacements de gaz peuvent parfaitement se produire sans que la permanence de la *forme extérieure* de l'aérostat cesse d'avoir lieu et ont une influence prépondérante sur la stabilité des aérostats de forme allongée. Il suffit pour s'en rendre compte d'examiner ce qui va se passer lorsque pour une cause ou pour l'autre le ballon prendra une certaine inclinaison x' y'.

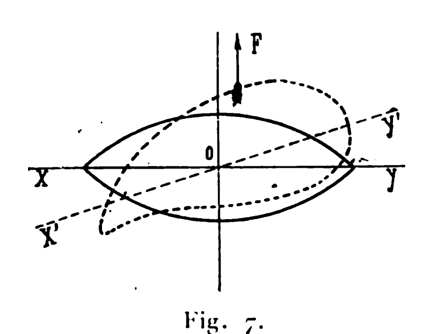
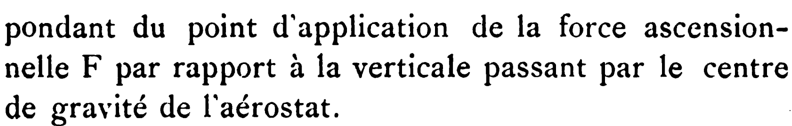


Fig. 7.

Si le ballon se trouve partiellement dégonflé, il est évident que le gaz qu'il renferme se portera immédiatement vers la partie la plus élevée en produisant un déplacement corres-



pondant du point d'application de la force ascensionnelle F par rapport à la verticale passant par le centre de gravité de l'aérostat.

Cet effet augmentera d'ailleurs très-rapidement avec l'inclinaison x' y', et l'on conçoit aisément qu'il pourra arriver un moment où le poids de la nacelle agissant sur les cordages se trouvant insuffisant pour ramener l'horizontalité, l'aérostat prendra une nouvelle position d'équilibre et l'inclinaison *deviendra permanente* (1).

— Il est à remarquer que la permanence de forme devra être obtenue aussi bien à *l'intérieur* qu'à l'extérieur, condition assez difficile à réaliser avec la disposition qui a été adoptée par M. Dupuy de Lôme.

Il est facile de voir en effet que le déplacement des masses gazeuses pourrait encore se faire dans cet aérostat :

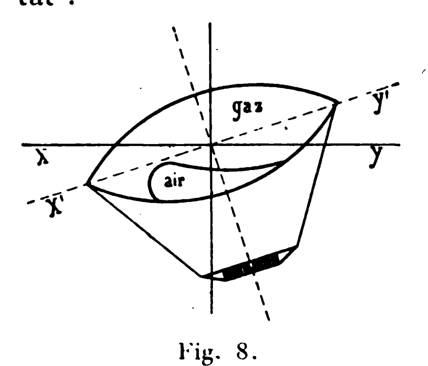


Fig. 8.

1° Si le ballonnet b ne se trouvait pas entièrement gonflé.

2° Si le ballonnet étant complètement gonflé, le volume du gaz n'était plus capable de tendre les parois du ballon porteur, circonstance qu'il faudra éviter avec le plus grand soin. — Dans ce dernier cas, l'air du ballonnet se trouverait en effet refoulé vers les parties les plus basses, tandis que le gaz se porterait vers les parties les plus élevées de l'aérostat [fig. 8].

— Le système de triangulation funiculaire adopté par

(1) C'est à ce déplacement des masses gazeuses que l'on doit attribuer, selon nous, l'accident qui faillit coûter la vie à M. Giffard lors de sa deuxième ascension.

M. Dupuy de Lôme a certainement sa raison d'être; mais il serait impuissant à maintenir à lui seul la stabilité de l'aérostat qui dépend surtout des ***déplacements de gaz*** dont nous venons de parler.

L'importance de ces déplacements pourrait, il est vrai, être atténuée au moyen d'un certain nombre de cloisons transversales convenablement disposées, ou encore par l'emploi d'un aérostat en *forme de poisson* dont le diamètre maximum serait aussi rapproché que possible de l'avant, comme dans l'aérostat de Meudon ; mais la dissymétrie de cette dernière disposition nous paraît présenter le grave inconvénient de compliquer beaucoup la construction sans qu'il en résulte une notable diminution de la résistance opposée par l'air à la marche de l'aérostat, par suite de *l'augmentation* de la maîtresse section.

— Pour remédier aux inconvénients pouvant résulter du déplacement des masses gazeuses, il conviendrait, à notre avis, de placer à l'intérieur d'un aérostat de forme cylindrique et rempli d'air légèrement comprimé, un ballon porteur B sur lequel on ferait reposer la plus grande partie du poids de la nacelle (fig. 9).

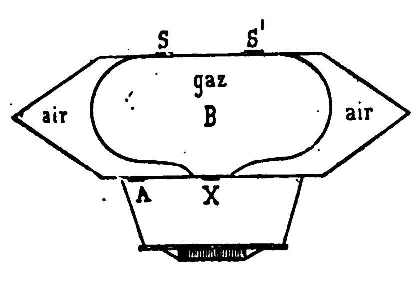


Fig. 9.

— Cette solution, qui est en quelque sorte inverse de celle de M. Dupuy de Lôme, nous semble présenter, en effet, plusieurs avantages au point de vue de la stabilité, de la facilité des manœuvres, de la simplicité de construction et de la solidité.

Le ballon porteur se trouvant placé au centre même



[redacted]

de l'aérostat, le déplacement du point d'application de la force ascensionnelle sera moindre, et le poids de la nacelle se fera sentir plus énergiquement pour ramener l'équilibre ; car ce poids peut être considéré comme agissant sur les extrémités d'un balancier dont le point d'appui serait le sommet du ballon porteur.

Ce dernier effet ne pourra cependant se produire qu'à la condition de donner une certaine rigidité aux parois extérieures de l'aérostat, rigidité que l'on obtiendra aisément en élevant *la pression* des gaz du ballon.

Enfin il sera toujours prudent, dans le cas où l'on ferait usage d'un ballon porteur ayant une forme assez allongée, de munir ce ballon d'un certain nombre de cloisons transversales percées chacune d'un petit orifice de communication à la partie inférieure. On évitera ainsi les mouvements de tangage qui sont dus principalement à la facilité avec laquelle le gaz passe d'une extrémité à l'autre d'un aérostat de forme ovoïde.

Influence de la pression intérieure du gaz.

La facilité avec laquelle on peut obtenir, par une simple insufflation d'air, la rigidité des parois d'un aérostat montre le peu de valeur du raisonnement par lequel certaines personnes prétendent démontrer l'impossibilité de lutter contre le vent sous prétexte que le *gaz étant plus léger que l'air* les parois de l'aérostat ne sauraient résister à la pression exercée par un courant d'air animé d'une certaine vitesse.

Pour *un même excès de pression*, il est bien évident cependant que la rigidité *sera la même*, quelle que soit la densité du gaz employé ; et, si l'on pouvait supprimer la nacelle, il serait possible de lutter contre un véritable ouragan, car l'hélice, supposée placée à l'une des extrémités

de l'aérostat, peut être considérée comme agissant sur un véritable solide pour peu que la pression intérieure dépasse celle que le vent exerce sur les parois du ballon et que la poussée de l'hélice soit bien répartie (1).

(1) Le tableau suivant, obtenu en combinant les tables données par différents auteurs, indique la vitesse que possèdent les molécules d'air dans les différentes espèces de vents et les pressions exercées sur une surface plane de 1 mètre carré frappée perpendiculairement.

TABLE DES VITESSES ET PRESSIONS DU VENT.

DÉSIGNATION DES VENTS	VITESSE PAR SECONDE	VITESSE par SECONDE	Pressions en kg par mètre carré LABOULAYE	UHLAND	RORET
	m.	m.	k.	k.	k.
Vent seulement sensible	1	1	0,20	»	»
Vent faible ou légère brise	2	2	0,54	»	»
Vent modéré	2,5	2,22	0,66	»	»
Vent *frais*	4,7	2,50	»	0,76	»
Vent frais ou *brise*, tend bien les voiles.	6	3,00	»	»	1,05
Vent fort ou *jolie brise*, le plus convenable aux moulins	7	4,70	»	2,71	»
Bon frais, très-bon pour la marche en mer	9	5,00	»	»	2,91
Grand frais, fait serrer les hautes voiles	12	6,00	4,87	»	»
Vent violent ou très-fort	15	7,00	6,64	6,00	»
Vent impétueux	20	8,00	»	»	7,44
Tempête	27	9,00	10,94	»	»
Grande tempête	30	10,85	»	»	13,70
Ouragan	36	12,00	19,50	»	»
Grand ouragan	40	14,00	»	»	22,80
Ouragan qui renverse les édifices	45	15,00	30,47	27,56	»
		20,00	54,16	»	46,25
		27,00	98,17	»	»
		30,00	»	110,23	»
		36,00	176,96	»	»
		40,00	»	195,97	186,08
		45,00	277,87	»	»

En divisant les chiffres des trois dernières colonnes par le coefficient de réduction adopté par M. Dupuy de Lôme, c'est-à-dire par $\frac{1}{30}$, on voit qu'un vent impétueux ayant une vitesse de 20 mètres par seconde n'exercerait qu'une pression moyenne de 1 k. 55 par mètre carré de la maîtresse section de l'aérostat, ce qui est insignifiant. Il en résulte qu'en donnant au gaz un excès de pression de 100 mm. sur l'air ambiant, soit 100 kilos par mètre carré, les parois de l'enveloppe posséderont toujours, pour des vitesses inférieures à 20 m. par seconde, une rigidité suffisante pour conserver la permanence de la forme de l'aérostat, même



Il est, d'ailleurs, assez facile de calculer approximativement la pression minima qu'il conviendrait de donner à l'air, en remarquant que cette pression doit être assez forte pour que la répartition du poids de la nacelle se faisant à peu près uniformément sur toute la surface de l'aérostat non en contact avec le ballon porteur, le ballon ne puisse jamais se déformer, même s'il venait à prendre une inclinaison assez prononcée.

Dans le ballon de M. Dupuy de Lôme, supposé gonflé d'hydrogène jusqu'au bas des pendentifs, la pression atteignait les valeurs suivantes :

au bas du ballon.........	8	k.	16
à la hauteur de l'axe......	16	»	32
au sommet du ballon......	24	»	48

Ce qui montre qu'en donnant à l'air qui entoure le ballon porteur un excès de pression de 20 kilos par mètre carré, correspondant à environ 0,002 d'atmosphère, il serait possible d'obtenir une rigidité plus que suffisante pour maintenir la permanence de la forme de l'aérostat, d'autant plus que l'on peut très-bien faire reposer la plus grande partie du poids de la nacelle sur la partie de

en admettant que la pression du vent pût exercer momentanément son action sur une *surface plane*.

La forme *concave* pouvant donner lieu à une pression presque double de celle qui correspond au plan mince, il sera prudent, lorsque l'aérostat sera au repos, de conserver à l'intérieur de l'enveloppe une pression deux fois plus forte que celle qui serait suffisante pour la pression du vent sur une surface plane, afin d'éviter les accidents du genre de celui qui s'est produit avec le grand ballon captif de 1878.

D'après M. Didion, si l'on fait mouvoir dans l'air avec des vitesses variant de 0 à 8 m., une surface courbe dont la flèche est comprise entre le tiers et le quart de la largeur, quand la convexité est tournée en avant, la résistance n'est, en effet, que les 0,77 de celle qu'éprouverait une surface plane égale à la projection de la surface courbe perpendiculairement au mouvement ; tandis que, quand c'est la concavité qui est en avant, la résistance est représentée par 1,94 celle de la surface plane étant 1 (voir *Dictionnaire de Sonnet* à l'article *Résistance des fluides*).

l'enveloppe extérieure qui se trouve directement en contact avec le ballon porteur. La résistance de l'étoffe, en cet endroit, devra être notablement plus forte, car la pression exercée sur l'étoffe se composera alors de la pression de l'air augmentée de la pression exercée par l'hydrogène au sommet du ballon porteur en vertu de sa faible densité.

Nous pensons que la disposition générale [fig. 9] que nous avons donnée à notre aérostat permettrait de porter sans le moindre inconvénient à 0,002 et même à 0,004 d'atmosphère la pression de l'air qui environne le ballon porteur, à la condition cependant de renforcer suffisamment l'étoffe qui recouvre le sommet du ballon porteur, afin d'éviter les déchirures possibles et surtout les pertes de gaz qui auront évidemment tendance à augmenter d'intensité à mesure que la pression du gaz s'élèvera par rapport à celle de l'atmosphère.

Quant aux pertes de gaz à travers l'étoffe du *ballon intérieur*, elles resteront les mêmes, quelles que soient les variations de la pression de l'air qui l'entoure, puisque la pression du gaz augmentera dans les mêmes proportions que celle de l'air.

Avec le ballonnet de M. Dupuy de Lôme, il n'en serait certainement pas ainsi, et les déperditions de gaz augmenteraient sur *toute la surface* extérieure de l'aérostat à mesure que la pression de l'air du ballonnet s'élèverait.

— La permanence de la forme de notre aérostat pourrait évidemment être obtenue en donnant à l'air une pression inférieure à 20 mm.; mais nous verrons plus tard qu'il y aura toujours intérêt à augmenter cette pression qui sera très-utile pour faire arriver facilement le



gaz de l'aérostat *jusqu'au foyer* de la chaudière, lorsqu'on voudra se servir du mode de chauffage auquel nous avons fait allusion au commencement de cette étude.

— Si l'on voulait augmenter beaucoup la pression de l'air, et la porter par exemple de 20 mm. à 100 mm., il pourrait se faire que les pertes de gaz à travers les parties de l'étoffe du ballon porteur qui se trouvent directement en contact avec l'atmosphère, soient assez sensibles malgré la surépaisseur donnée à l'étoffe en cet endroit; mais nous pensons qu'il ne faut pas attacher trop d'importance à cet inconvénient, auquel il serait d'ailleurs facile de remédier en renforçant l'étoffe du ballon au moyen de feuilles métalliques très-minces, collées intérieurement ou extérieurement. L'*aluminium* en feuilles conviendrait très bien pour cet usage (1).

(1) L'idée de remplacer l'étoffe des ballons par des feuilles métalliques soudées entre elles est due à M. Dupuy Delcourt qui, vers l'année 1846, s'associa à M. Marey Monge pour la construction d'un aérostat cylindro-conique en cuivre. Un petit ballon métallique de dix mètres de diamètre fut construit par ce procédé et resta exposé pendant quelque temps dans des ateliers de l'impasse du Maine.

— Le principal inconvénient de ce genre d'aérostat réside dans l'augmentation du poids de l'enveloppe et dans son peu de flexibilité, mais il est possible cependant que ce système puisse être employé avec avantage pour la construction des ballons-montgolfières de *très-grandes dimensions*, en ce sens qu'il permettrait *d'élever beaucoup la température des gaz*. De plus, l'incendie des parois de l'aérostat n'étant plus à craindre, rien ne s'opposerait à ce que l'on employât une disposition analogue à celle du *ballon planeur* du baron Scott (1789) dont la nacelle faisait en quelque sorte partie du ventre de l'aérostat, disposition excellente au point de vue de la diminution de la résistance de l'air.

Si nous nous en rapportons à l'intéressant ouvrage de M. G. Tissandier sur la *Navigation aérienne*, M. Duponchel, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a proposé tout récemment la construction d'un aérostat analogue à celui du ballon planeur de Scott, avec cette différence toutefois que les mouvements de montée et de descente sont obtenus en *chauffant* ou en *laissant refroidir* le gaz du ballon, ce qui rentre entièrement dans le système que nous avons exposé en 1880. (Voir l'*Aéronaute* de janvier 1887.)

— En ce qui concerne l'emploi des métaux minces dans la construction des aérostats, nous croyons devoir reproduire ici les chiffres suivants

Nous ferons remarquer en outre que cette surface de déperdition pourraît être, théoriquement, réduite à une simple génératrice si l'aérostat était cylindrique, et même à un simple point dans le cas d'un ballon sphérique ou elliptique.

Une pression de 100 mm. pour *l'air de l'enveloppe* n'a d'ailleurs rien d'exagéré avec du Ponghée ordinaire ; mais, *pour le gaz*, M. Renard ne croit pas prudent de dépasser cette limite, les trous commençant à s'agrandir à partir d'une pression de 400 mm. et la rupture des coutures pouvant se faire à une pression de 700 à 800 mm. [voir l'*Aéronaute* d'août 1881].

M. Renard pense même que dans la pratique, il convient de ne pas dépasser 1/5 de la limite que nous venons d'indiquer, soit 25 mm. pour un ballon rempli de gaz d'éclairage.

— Avec une étoffe analogue à celle que M. Giffard a employée pour son grand ballon captif de 36 mètres de diamètre rempli de *gaz hydrogène*, cette limite serait beaucoup plus reculée ; car d'après les calculs du savant

donnés par M. du Hauvel, dans l'*Aéronaute de Mai* 1888 à propos d'un projet de montgolfière métallique conçu par M. Joseph Vinot, directeur du *Journal du Ciel*, pour l'exploration du pôle Nord.

« Il existe, dit M. du Hauvel du cuivre rouge pur et du laiton à différents titres laminés sur 13 centimètres de largeur en bandes indéfinies. « Les sortes les plus minces pèsent 240 grammes le mètre carré. Leur « épaisseur est de $\frac{1}{32}$ de millimètre.

« On assemble ces bandes à recouvrement d'un millimètre, avec le fer « à souder à gaz des ferblantiers. Le métal, par lui-même, n'est pas « étanche. En le regardant par transparence au soleil, on y remarque « des traces.

« *Le paillon*, laiton ou cuivre mince argenté, se fabrique en bandes de « 14 centimètres de largeur et 21 centimètres de longueur. Il est em- « ployé pour l'encartage des boutons. L'argenture ici masque les trous. « Le poids du paillon est de 220 grammes le mètre carré. Il existe enfin « un article qui n'a que $\frac{1}{120}$ de millimètre d'épaisseur, sur 9 centimètres « de largeur. C'est le *clinquant* que l'on colle sur du papier. »



ingénieur, le maximum de tension que pouvait atteindre l'enveloppe sous l'action du gaz du ballon, sans qu'il en résulte le moindre inconvénient, était d'environ 333 kilogrammes par mètre linéaire, ce qui correspond à une pression intérieure de 333 mm. !

Chacune des bandes d'étoffes employées avait été préalablement soumise à une tension de 1000 kilos pendant un quart d'heure, de sorte que la charge pratique n'étant que le 1/3 de la charge d'essai, on était absolument certain que la force de résistance de l'étoffe était environ triple de l'effort auquel elle aurait à résister [Voir le rapport de M. Miret sur l'aérostation à l'Exposition de 1878].

La pression au sommet de l'aérostat de M. Dupuy de Lôme ne dépassant pas 25 mm., on voit que l'emploi d'une étoffe analogue à celle de M. Giffard suffirait parfaitement pour recouvrir le sommet de notre aérostat, même si la pression de l'air renfermé dans l'enveloppe dépassait 100 mm. d'eau.

Une soupape automatique A placée à la partie supérieure ou mieux à la partie inférieure de l'aérostat (fig. 9) sera réglée de manière à ce que l'air puisse s'échapper aussitôt que sa pression dépassera par exemple 20 kilos par mètre carré.

Une deuxième soupape automatique S placée directement au-dessus du ballon porteur donnera passage au gaz si la pression de ce dernier dépassait la pression de l'air augmentée de la pression exercée par le gaz au sommet de l'aérostat, circonstance qui pourra se produire, par exemple, lorsque le ballon porteur se trouvant entièrement gonflé, l'aérostat continuera son mouvement ascensionnel.

La section de ces deux soupapes automatiques devra être suffisante pour que l'air ou le gaz puisse s'échapper assez rapidement et que la pression ne puisse jamais devenir dangereuse, quelle que soit la vitesse ascensionnelle. Un calcul fort simple permettrait de déterminer ces sections pour la vitesse ascensionnelle maxima que pourrait prendre l'aérostat; mais comme la question n'a pas ici grande importance, nous renverrons le lecteur à l'excellente étude sur les aérostats à volume maximum variable que le capitaine Renard a fait paraître dans *l'Aéronaute* de septembre 1881.

— Une troisième soupape à gaz S', non équilibrée, jouera le rôle d'une soupape ordinaire et sera manœuvrée en cas de besoin par les aéronautes.

Les choses étant ainsi disposées, on voit qu'on pourra sans inconvénient *supprimer les pendentifs*, et qu'il suffira, pour obtenir la permanence de la forme de l'aérostat, de faire fonctionner le ventilateur dès que la pression de l'air deviendra un peu faible, ce qui se produira principalement pendant les descentes (1).

Ce ventilateur, pourrait, du reste, fonctionner automatiquement au moyen d'un *manomètre électro-moteur*, analogue au baromètre dont nous donnerons plus loin la description ; mais, à défaut d'appareil automatique, il serait toujours facile d'employer un ventilateur mis en

(1) Au point de vue de la diminution de la résistance de l'air, la suppression des penditifs serait excellente ; il suffit, pour s'en rendre compte, d'examiner le tableau des résistances donné par M. Dupuy de Lôme (page 19). — Dans l'aérostat de Meudon, la section de ces organes paraît avoir été exagérée. (Voir fig. 3.)



mouvement par un homme de l'équipage qui se réglerait par exemple sur la pression indiquée par un manomètre de précision donnant la pression de l'air de l'enveloppe.

Un clapet de retenue placé dans le tuyau de refoulement s'opposerait à la sortie de l'air introduit dans le ballon.

— Enfin, si on voulait diminuer la force ascensionnelle en remplaçant une partie de l'air chaud par de l'air froid, il suffirait de continuer à faire marcher le ventilateur, de façon à ce que, la pression augmentant, l'air chaud puisse s'échapper par la soupape A (1).

Quant à la pression obtenue par un ventilateur manœuvré simplement à bras d'homme, elle sera certainement plus que suffisante pour produire la tension des parois de l'aérostat, puisque le ventilateur employé par M. Dupuy de Lôme pour le gonflement de son ballonnet donnait facilement une pression de 4 centimètres d'eau, soit 40 kilos par mètre carré de surface, et que nous avons vu précédemment qu'une pression de 20 kilos suffisait amplement pour maintenir la permanence de la forme de l'aérostat.

Si on voulait tendre les parois de l'enveloppe sous une pression supérieure à 40 mm., il faudrait employer un ventilateur analogue aux ventilateurs soufflants de M. E. Farcot qui peuvent donner jusqu'à 700 mm. de pression [voir les Notes et Formules de l'Ingénieur, par Uhland].

Le volume du gaz renfermé dans le ballon intérieur, au moment du départ, et les dimensions qu'il conviendra de

(1) L'air froid ayant toujours tendance à rester dans les parties les plus basses du ballon, tandis que l'air chaud se porte de préférence vers les parties les plus élevées, il y aura intérêt à placer la soupape à air A à la partie supérieure de l'aérostat, afin que le remplacement de l'air chaud par de l'air d'une plus grande densité puisse se faire plus rapidement. Cette disposition devra être employée toutes les fois qu'on le pourra.

donner à celui-ci pour que la dilatation du gaz puisse se faire librement, dépendront de la *hauteur maxima* que les aéronautes se proposeront d'atteindre. Nous pensons que pour répondre à tous les besoins de la pratique, il suffirait de remplir le ballon porteur aux 2/3, ce qui permettrait d'atteindre sans perdre de gaz l'altitude de 3,400 mètres, correspondant à la hauteur barométrique de 50 mm. à partir de laquelle les aéronautes commencent à sentir un certain malaise dû à la raréfaction de l'air.

Intérêt qu'il y a à placer le réservoir d'air autour du ballon porteur.

Les autres avantages que présente la disposition que nous avons adoptée consistent principalement :

1° — Dans une plus grande facilité pour placer un brûleur d'air au milieu du ballon porteur ou un brûleur à gaz dans le réservoir d'air :

2° — Dans la diminution des pertes de gaz résultant de la réduction de la surface de l'étoffe directement en contact avec le gaz (1).

3° — Dans la suppression des chances d'incendie pouvant résulter de l'échappement du gaz au-dessous d'un ballon muni d'une machine à feu.

(1) La force ascensionnelle du gaz qui traversera l'étoffe du ballon porteur ne sera pas entièrement perdue, car ce gaz restera de préférence dans les parties les plus élevées de l'aérostat, et si la soupape automatique A se trouve placée au dessous de l'aérostat, il ne s'en perdra qu'une quantité assez minime par les entrées et les sorties d'air.

C'est cette raison principalement qui nous a conduit à renoncer à placer la soupape A au-dessus de l'enveloppe du ballon, bien que cette disposition soit préférable au point de vue du remplacement rapide de l'air chaud par de l'air froid pris à l'extérieur.

Enfin, la réduction de la surface de l'étoffe du ballon porteur présente encore l'avantage de diminuer beaucoup la surface sur laquelle se condensera la vapeur et de réduire, par suite, le poids d'eau servant à humecter les parois intérieures de l'aérostat.



4° — Dans la suppression possible du filet ou de la chemise employée par M. Dupuy de Lôme, et dans la facilité avec laquelle on pourra attacher à l'enveloppe extérieure les suspentes, les châssis des plans inclinés, les soupapes, le gouvernail..., etc, sans qu'il en résulte des fuites de gaz à l'endroit des coutures.

5° — Dans la diminution des frottements exercés par le filet et les suspentes sur l'étoffe vernie et caoutchoutée renfermant le gaz.

6° — Dans l'augmentation considérable du volume de la poche à air, ce qui permet d'atteindre de très-grandes hauteurs sans perte de gaz.

7° — Dans la stabilité plus grande résultant de l'abaissement du centre de gravité de la masse gazeuse qui remplit l'aérostat.

— Il est à remarquer, en outre, que la *transmission de la chaleur du gaz* à l'air de l'enveloppe se fera beaucoup mieux que si cet air se trouvait emprisonné dans un ballonnet placé à la partie inférieure de l'aérostat, car l'échauffement ne se produira plus uniquement par la partie supérieure.

CHAPITRE IV

—

Systèmes de propulsion. — Principes généraux à observer pour la conduite d'un ballon montgolfière à vapeur.

Le système de navigation aérienne qui consiste à utiliser la force ascensionnelle et descensionnelle pour imprimer à l'aérostat une sorte de marche oblique nous semble éminemment pratique, et c'est ce genre de locomotion qu'il conviendrait probablement d'adopter pour des voyages de *très-longue durée* (1).

(1) Le principe des plans inclinés est expliqué très clairement par M. G. Tissandier de la façon suivante :

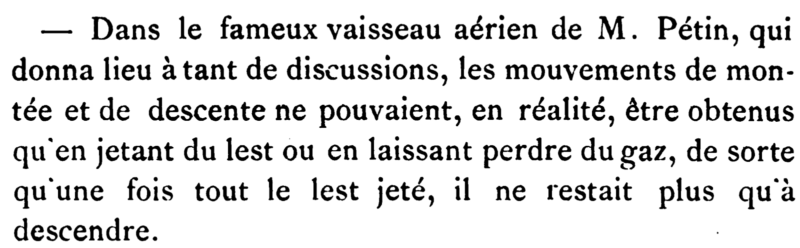
« Prenez, dit-il, un écran ; soulevez-le vivement en le tenant horizontalement et à plat, vous vous apercevrez que l'air oppose une résistance très-sensible ; recommencez l'expérience, en inclinant l'écran de manière à ce que sa surface forme un angle appréciable avec la ligne de l'horizon, vous verrez que l'air, en glissant sur le *plan incliné*, fait dévier ce plan dans le sens opposé à son inclinaison. Votre bras, si vous agissez violemment, sera entrainé obliquement par le mouvement de l'écran. »

« D'après ce principe, on s'est trouvé conduit à proposer de munir l'aérostat de grandes surfaces planes, qui, inclinées convenablement, le dirigeraient dans un sens ou dans un autre, pendant sa montée ou sa descente. On a encore pensé à se servir du ballon lui-même comme d'un plan incliné, en donnant au navire aérien la propriété de s'incliner au gré du pilote aérien. Si ces méthodes sont efficaces, il suffirait de s'élever et de descendre successivement, sans perdre de gaz et sans jeter de lest, pour que le ballon puisse en quelque sorte tirer des bordées dans le sens de la verticale. »

« Telle est l'idée fondamentale qui a servi de base à un grand nombre de projets, paraissant rationnels au premier examen, et que nous avons réunis sous le nom de *ballons planeurs*. »...

Suit la description des projets du baron Scott, de Hénin, de Pétin, de Prosper Meller, de Van Hecke... etc., basés sur le principe des plans inclinés avec adjonction d'hélices, de roues, de rames, de voiles.., etc.





— Dans le fameux vaisseau aérien de M. Pétin, qui donna lieu à tant de discussions, les mouvements de montée et de descente ne pouvaient, en réalité, être obtenus qu'en jetant du lest ou en laissant perdre du gaz, de sorte qu'une fois tout le lest jeté, il ne restait plus qu'à descendre.

C'était là un vice radical auquel nous pouvons heureusement remédier, maintenant que nous possédons un moyen simple et pratique d'augmenter et de diminuer à volonté la force ascensionnelle d'un aérostat, sans qu'il en résulte d'autre perte de lest que celle qui correspond au poids du combustible.

Le poids de combustible qu'il est nécessaire de brûler pour produire une force ascensionnelle donnée étant environ 80 fois moindre que le poids du lest qu'il faudrait jeter pour obtenir la même force ascensionnelle, on voit, à priori, qu'il serait possible d'effectuer ainsi de très longs voyages, d'autant plus qu'on peut utiliser également la chaleur produite par la combustion du gaz qui fait équilibre au poids du combustible.

L'utilisation complète des mouvements de montée et de descente nous a parue cependant assez difficile à réaliser pratiquement, en ce sens, qu'elle exige l'emploi de châssis horizontaux sur le pourtour de l'aérostat.

Aussi nous sommes-nous arrêtés à un *système mixte* qui permet d'utiliser la force descensionnelle pour la propulsion de l'aérostat, mais qui exige l'emploi de l'hélice pendant les montées. — Cette hélice peut être mise en mouvement à bras d'homme ou au moyen d'une machine dont la vapeur d'échappement va se condenser dans le ballon porteur, ce qui détermine une nouvelle ascension de l'aérostat.

Ce système de locomotion, qui rappelle un peu le vol d'un oiseau, n'exige pas un grand approvisionnement

d'eau, puisque la vapeur de la machine se condense dans le ballon porteur et peut, par conséquent, être facilement recueillie pour être vaporisée de nouveau dans la chaudière.

— Si l'on voulait que l'hélice fonctionnât également pendant les descentes, afin d'ajouter son action à celle des plans inclinés, il serait possible d'éviter complètement les pertes de liquide en envoyant la vapeur d'échappement dans un aéro-condenseur ou dans un condenseur ordinaire alimenté par de l'*eau glacée*.

L'allégement de l'aérostat se réduirait alors au poids du combustible brûlé, et c'est là une circonstance sur laquelle nous ne saurions trop insister, attendu qu'elle fournira le moyen de prolonger beaucoup la durée des voyages aériens.

Nous donnerons un peu plus loin la description d'un aérostat construit sur ces données et muni d'*un condenseur à surface*.

Le ballon de M. Dupuy de Lôme, que nous avons pris comme sujet d'étude, avait une force ascensionnelle absolue de 3,799 kilos égale au total des poids :

Aérostat proprement dit avec tous ses accessoires et instruments d'observation......	1776 kg.
14 hommes d'équipage, bagages et vivres..	1148
Colis à porter à destination...........	275
Lest disponible..........................	600
Total.............	3799 kg.

Il résulte de ce qui précède qu'en remplaçant les 600

kilos de lest disponible par du combustible (charbon de coke ou pétrole), on pourrait obtenir le même effet qu'avec 600 × 80 = 48,000 kilos de lest, toutes choses étant égales d'ailleurs ; et si l'on remarque que le volume d'hydrogène qui fait équilibre aux 600 kilos de combustible peut être brûlé au fur et à mesure que le ballon s'allège, on voit qu'il serait possible d'obtenir encore de cette façon le même effet qu'en jetant :

$$\frac{3454 \times 600}{57{,}99} \times 46{,}381 = 25{,}300 \text{ kg. de lest,}$$

puisque nous avons vu que la combustion de chaque mètre cube d'hydrogène pouvait produire 46 kilos 381 de force ascensionnelle.

L'aéronaute aurait donc à sa disposition une force équivalente à celle qu'il pourrait obtenir avec :

$$48{,}000 + 25{,}300 = 73{,}300 \text{ kg. de lest !}$$

et cela sans qu'il soit besoin de recourir à la soupape, c'est-à-dire sans perte de gaz pendant les descentes qui, comme on le sait, sont simplement obtenues par le refroidissement de la masse gazeuse qui remplit l'aérostat.

Pour plus de simplicité, nous avons négligé ici l'influence des pertes de chaleur à travers les parois de l'aérostat, ces pertes étant relativement peu considérables, ainsi que nous le montrerons tout à l'heure.

— Si l'aéronaute n'avait d'autre but que de se maintenir dans les courants aériens les plus favorables à la marche de l'aérostat, il suffirait, pour faire monter ou descendre l'aérostat à la hauteur voulue, de donner aux gaz qu'il renferme *un très faible excès de température* sur l'air ambiant, et le voyage pourrait alors se prolonger presque indéfiniment ; car une fois que l'aérostat se trouvera à l'altitude voulue, l'aéronaute l'y maintiendra

facilement en introduisant dans le ballon un nombre de calories égal à celui qui s'échappe à travers les parois de l'aérostat ; et l'on conçoit aisément que lorsqu'on aura brûlé un poids de combustible équivalant à la force ascensionnelle due à l'excès de la température des gaz du ballon sur celle de l'air ambiant, l'aérostat restera à la même hauteur sans qu'il soit nécessaire de se servir de la chaudière ou du brûleur d'air pour empêcher les descentes.

— Le ballon, une fois *en équilibre de température* avec l'air ambiant, ne pourrait théoriquement descendre qu'à la condition de laisser échapper une certaine quantité de gaz ; mais, si leur amplitude n'était pas trop grande, il vaudrait mieux obtenir les mouvements de descente en augmentant au moyen du ventilateur la pression, et par suite la densité des gaz renfermés dans le ballon [système de Meusnier].

Dans un voyage de très-longue durée, la principale chose à craindre est l'échauffement du gaz sous l'influence des rayons solaires ; car, pour des températures ou des différences de température égales, le rapport entre la densité du gaz et celle de l'air extérieur reste invariable quelle que soit l'altitude atteinte par le ballon. Il en résulte que, toutes choses étant égales d'ailleurs, le poids de l'air déplacé par l'aérostat, c'est-à-dire sa force ascensionnelle, ne peut varier que sous l'influence d'un changement dans la température de l'air extérieur ou dans celle des gaz du ballon.

Il faudra donc éviter autant que possible l'absorption des rayons solaires en peignant *l'aérostat en blanc* et en ayant soin de renouveler fréquemment l'air qui entoure le ballon porteur, afin de rafraîchir le gaz qu'il renferme.



[redacted]

En procédant ainsi, on évitera une trop grande consommation de combustible pendant la nuit, et une perte notable de gaz pendant le jour. Pour un voyage de très longue durée, le meilleur moyen d'éviter l'échauffement du gaz de l'aérostat pendant le jour et son refroidissement pendant la nuit consisterait à dorer ou à argenter l'enveloppe extérieure et au besoin le ballon porteur lui-même.

— Il est bon de remarquer, en outre, que dans notre système de ballon-montgolfière, la surface par laquelle l'hydrogène peut absorber directement les rayons calorifiques du soleil se trouve considérablement réduite, ce qui constitue encore un avantage sérieux sur la disposition qui consiste à placer le réservoir d'air à l'intérieur de l'aérostat.

Calcul approximatif du temps pendant lequel un ballon montgolfière ordinaire pourrait se maintenir dans les airs. — Ballons dorés ou argentés.

Il est d'ailleurs assez facile de se rendre compte par le calcul de la quantité de chaleur qu'il faudrait dépenser pour empêcher les descentes lorsque la dilatation des gaz du ballon sous l'influence des rayons solaires n'a plus lieu :

En admettant que l'action du soleil se fasse sentir pendant 12 heures, et que l'excès de la température moyenne des gaz du ballon sur l'air ambiant atteigne un maximum de 10° pendant le jour, malgré les précautions prises pour éviter l'échauffement de l'air et du gaz, il faudra introduire dans le ballon un nombre de calories suffisant pour faire face aux déperditions de chaleur qui auront lieu pendant la nuit et une partie de la journée pour

une différence de température de 10° ; car pour conserver une force ascensionnelle constante et maintenir l'aérostat à peu près à la même hauteur, il faut évidemment que l'excès de température des gaz du ballon sur l'air ambiant soit toujours de 10°.

La surface géométrique du ballon de M. Dupuy de Lôme étant de 1225 m. q., la quantité de chaleur transmise à travers l'étoffe, pour une différence de température de 10°, sera donnée par la formule :

$$M = Q\,S\,(t - \theta) = Q \times 1{,}225 \times 10.$$

Quant au coefficient de transmission Q, il sera donné par les relations :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{c} + \frac{1}{K'}$$

$$K = m\,r + n\,f$$

$$K' = m'\,r' + n'\,f'$$

car, si A B et A' B' représentent les parois intérieures et extérieures de l'aérostat, il y aura (fig. 10) :

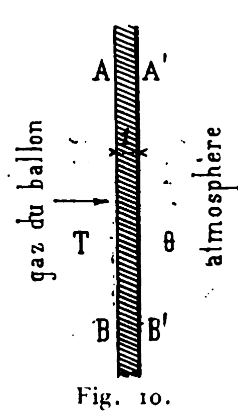


Fig. 10.

1° — Transmission par rayonnement et convexion de la chaleur du gaz du ballon, supposé à la température T, à la face A B de l'enveloppe.

2° — Transmission par conductibilité de la chaleur de la face A B à la face A' B'.

3°— Transmission de la chaleur de la face A' B' à l'air extérieur par rayonnement et convexion.

— La différence de température n'étant que de 10°, on peut employer la formule de Newton, et faire par conséquent :

$$m = 1 \quad n = 1$$

$$m' = 1 \quad n' = 1$$

Pour une étoffe de soie, le pouvoir de radiation r est égal à 3,71, et l'on peut prendre pour le coefficicnt de convexion f = 2, car il n'y a pas d'agitation et les rayons de courbure de l'aérostat sont considérables.

Nous aurons donc :

$$K = K' = 3{,}71 + 2 = 5{,}71$$

$$\frac{e}{c} = \frac{0{,}001}{0{,}04}$$

en prenant pour le coefficient de conductibilité c celui qui conviendrait à une étoffe de coton cardé, et en supposant que cette étoffe ait une épaisseur moyenne d'un millimètre (1).

$\frac{1}{Q}$ sera donc égal à :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{5{,}71} + \frac{0{,}001}{0{,}04} + \frac{1}{5{,}71} = 0{,}17513 + 0{,}025 + 0{,}17513 = 0{,}37526.$$

d'où l'on tire :

$$Q = 2{,}665$$

Le nombre de calories qu'il faudra envoyer en une heure dans le ballon sera donc égal à :

$$M = 2{,}665 \times 1{,}225 \times 10 = 32{,}650 \text{ calories.}$$

correspondant à une consommation moyenne de combustible de

$$\frac{32{,}650}{654 \times 8} = 6 \text{ kg. } 24.$$

en supposant que 1 kil. de combustible puisse produire 8 kil. de vapeur.

En admettant que le chauffage des gaz du ballon doive

(1) Il nous a été impossible de trouver dans les tables le coefficient de conductibilité de la soie, qui est certainement inférieur à 0,04 ; mais comme il faut tenir compte de l'influence du vernis qui est meilleur conducteur de la chaleur que la soie, nous pensons que l'on peut, sans grande erreur, prendre c = 0,04 pour coefficient de conductibilité de l'étoffe d'un ballon.

se faire pendant 16 heures, cette consommation sera de

$$6 \text{ kg. } 24 \times 16 = 99 \text{ kg. } 84.$$

soit 100 kil. par 24 heures.

Nous avons compté ici sur une moyenne de 16 heures pour la durée du chauffage, car les gaz devront être chauffés un peu le matin et le soir, lorsque la chaleur du soleil est encore insuffisante pour maintenir un excès de température de 10° sur l'air ambiant.

Cet excès moyen de température est d'ailleurs assez élevé, attendu que l'aéronaute pourra refroidir avec son ventilateur les gaz du ballon lorsque la chaleur du soleil sera trop forte, et l'on peut prendre comme un maximum la consommation de combustible que nous venons de trouver.

Un ballon non argenté comme celui de M. Dupuy de Lôme pourrait donc se maintenir dans les airs pendant 10 jours en emportant seulement 1000 kil. de combustible.

Mais comme rien n'empêche d'utiliser également la chaleur produite par la combustion des

$$\frac{3,454}{3.799} \times 1,000 = 902,2 \text{ mètres cubes.}$$

d'hydrogène faisant équilibre aux 1000 kilos de combustible consommé, quantité de chaleur qui est égale à

$$909,2 \times 3,085 = 28,048,82 \text{ calorles,}$$

on voit que les aéronautes pourraient encore maintenir leur ballon dans les airs pendant :

$$\frac{2,804,882}{32,650 \times 16} = 5,38 \text{ fois } 24 \text{ heures,}$$

ce qui porte la durée totale du voyage à plus de 15 jours.

Nous verrons plus loin comment il serait possible de maintenir encore pendant plusieurs jours l'aéros-

[redacted]

tat dans les airs en brûlant la presque totalité du gaz qu'il renferme et en le transformant progressivement en une simple *montgolfière à air chaud.*

Si, ainsi que nous ne saurions trop le conseiller, les aéronautes faisaient usage d'un ballon doré intérieurement et extérieurement, la durée d'un voyage effectué dans les mêmes conditions dépasserait 38 jours, en supposant que le coefficient de radiation de l'étoffe employée soit le même que celui du papier doré. Dans ce dernier cas, en effet, on a r = 0,23 au lieu de r = 3,70 qui convient à la soie, au calicot, au papier,... etc. Q est alors égal à 1,085 au lieu de 2,665 et la consommation de combustible par 24 heures de 40 kil. au lieu de 100 kil. Avec un ballon-montgolfière de notre système, la durée du voyage pourrait encore être sensiblement augmentée si l'étoffe du ballon porteur se trouvait également dorée, car la chaleur, produite de préférence à l'intérieur de ce ballon, devrait traverser la seconde enveloppe avant de se perdre dans l'atmosphère ambiante.

Si la dorure ou l'argenture était faite seulement à l'extérieur de l'aérostat, Q serait égal à 1,542 et la durée totale du voyage se trouverait réduite à 26 jours 1/2.

Les chiffres suivants permettent de se rendre compte des différences qui existent entre les pouvoirs de radiation des différents corps.

Huile...........................	7,24
Noir de fumée....................	4,01
Eau.............................	5,31
Argent poli......................	0,13
Papier argenté...................	0,42
Papier doré......................	0,23
Cuivre rouge (ballons métalliques)...	0,15
Laiton poli......................	0,24
Etain............................	0,215

Quant aux phénomènes électriques auxquels la pré· sence d'une couche métallique pourrait donner lieu, nous pensons que, comme pour le globe terrestre, tout se bornera à la production, sous l'influence des rayons solaires, d'un courant électrique perpendiculaire à la ligne qui limite la zone éclairée. La direction de ce courant sera d'ailleurs la même que celle du courant terrestre qui détermine la direction de l'aiguille aimantée.

Avec un ballon de la dimension du ballon captif de l'Exposition de 1878 dont la force ascensionnelle dépassait 30,000 kil., on pourrait naviguer dans l'atmosphère pendant un temps beaucoup plus long, car la surface de déperdition de chaleur croît seulement comme *le carré* de l'une des dimensions de l'aérostat, tandis que le volume du gaz, et par suite la quantité de combustible qu'il est possible d'emporter, croît comme *le cube* de la même dimension. Le diamètre de cet aérostat étant de 38 m., la surface de refroidissement serait d'environ :

$$S = 4 \pi R^2 = 4 \times 31{,}416 + 19^2 = 4{,}537^{mq.}$$

de sorte qu'on aurait :

$$M = 2{,}665 \times 4{,}537 \times 10 = 12{,}0911 \text{ calories,}$$

correspondant à une consommation de combustible de

$$\frac{120{,}911}{654 \times 8} = 23 \text{ kg. } 11.$$

par heure de chauffage, ou à 23, 11 × 16 = 370 kil. par jour ; ce qui permettrait de maintenir le ballon dans les airs pendant un mois en emportant seulement 370 × 30 = 11,100 kil. de combustible, soit un peu plus du 1/3 de la force ascensionnelle totale de l'aérostat.

En brûlant, en outre, les

$$\frac{11{,}100}{1{,}2} = 9167 \text{ mètres cubes d'hydrogène}$$



[redacted]

qui font équilibre au poids du combustible, on pourrait encore produire :

$$9,167 \times 3,085 = 28,280,265 \text{ calories,}$$

permettant de maintenir l'aérostat dans les airs pendant

$$\frac{28,280,265}{120,911 \times 16} = 14,06 \text{ fois } 24 \text{ heures,}$$

soit en tout pendant plus de 44 jours ! de sorte que les aéronautes pourraient fort bien faire le tour du monde en maintenant l'aérostat dans des courants aériens animés d'une vitesse moyenne d'environ 10 mètres par seconde.

Ces chiffres montrent clairement la possibilité d'effectuer des voyages de très longue durée, même avec des aérostats d'assez faible dimension construits suivant la méthode ordinaire. Si le ballon était doré intérieurement et extérieurement, les aéronautes pourraient se maintenir dans les airs pendant 110 jours, soit environ 3 mois et demi !

Transports effectués par ballons. — Gaz à l'eau.

Si les aérostats pouvaient être amarrés solidement pendant leur chargement et leur déchargement, le prix des transports effectués par la voie aérienne se réduirait théoriquement au prix du combustible solide ou gazeux qu'il faudrait consommer pour conserver aux gaz des ballons-montgolfières un certain excès de température dépendant de la hauteur moyenne à laquelle se tiendraient les aéronautes.

Considérés au point de vue de l'élévation des fardeaux les ballons-montgolfières sont donc d'excellentes machines permettant d'utiliser d'une façon très-complète la chaleur des combustibles, et, s'il était possible d'utiliser les nombreux courants aériens qui sillonnent l'atmosphère du globe terrestre, les transports par ballon devien-

draient *très-économiques*, car le rôle de la machine motrice se réduirait alors à rectifier la direction générale des courants aériens et à faciliter l'atterrissage aux différentes stations. Nous avons vu, en effet, qu'il suffisait d'introduire 15 ks. 41 de vapeur dans le ballon de M. Dupuy de Lôme, ou, ce qui revient au même point de vue de la dépense, de brûler environ 2 kilogrammes de charbon, pour élever cet aérostat à la hauteur de 1,000 mètres, et les chiffres que nous venons d'établir permettent de se rendre compte du poids de combustible total qu'il faudrait brûler pour conserver cette altitude pendant toute la durée du voyage.

La question des transports par voie aérienne, quelque absurde qu'elle paraisse à première vue, mériterait donc d'être examinée avec soin, et nous ne serions pas étonnés de voir un jour la concurrence s'établir entre ce mode de transport et ceux qui sont actuellement en usage.

Un navire aérien de la dimension du grand ballon captif de l'Exposition de 1878 permettrait le transport de 250 voyageurs ou de 15 à 20 tonnes de marchandises. Mais ce résultat ne pourrait, bien entendu, être obtenu qu'à la condition d'avoir un personnel expérimenté et un service organisé comme pour les transports maritimes ; en d'autres termes, il faudrait que les aérostats aient également leurs ports ou lieux d'ancrage, leurs ateliers de réparation...., etc.

Règle générale, un aérostat ne devrait être dégonflé qu'en cas de réparations urgentes, et nous ferons remarquer à ce propos que notre système de ballon-montgolfière à vapeur réaliserait assez bien les conditions requises, car le renouvellement du gaz pourrait se faire sans qu'il soit nécessaire de dégonfler l'aérostat. Il suffirait pour cela de vider le ballon-porteur en augmentant simplement la pression de l'air de l'enveloppe et de le rem-



[redacted]

plir ensuite avec du gaz contenu par exemple dans un gazomètre.

Si le ballon contenait encore une certaine quantité de gaz mélangé à de l'air ou à de l'acide carbonique, il faudrait le purger en y faisant passer un certain volume de gaz pur qu'on laisserait perdre ensuite par la soupape.

— Le développement futur de la navigation aérienne dépendant en grande partie du prix de revient du gaz employé pour le gonflement des aérostats, nous croyons devoir reproduire ici l'intéressante communication qui a été faite à l'Académie des Sciences, le 26 octobre 1885, sur le procédé de MM. *Hembut et Henry* pour la fabrication économique et industrielle du gaz hydrogène :

« La fabrication économique du gaz hydrogène, dit M. Bertrand, vient de recevoir une solution des plus heureuses. L'opération se fait de la manière suivante :

« De la vapeur d'eau surchauffée est projetée en jets très-déliés sur du coke à l'état incandescent, placé dans une première cornue chauffée au rouge. En présence du carbone, la vapeur d'eau est immédiatement décomposée et donne de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone en volumes égaux. On fait ensuite circuler ces gaz dans une cornue dite de seconde réaction, également chauffée au rouge et contenant des corps réfractaires disposés en sens inverse, de manière à faire parcourir un très-long chemin aux gaz et à en favoriser l'échauffement et le contact. »

« Des jets de vapeur surchauffée au point de dissociation arrivent à l'abri du charbon dans cette cornue en même temps que l'oxyde de carbone. Cette vapeur, en présence de ce dernier gaz, se décompose ; l'oxygène se porte sur l'oxyde de carbone, qu'il transforme en acide carbonique, et l'hydrogène, mis en liberté, s'ajoute à ce-

lui déjà produit dans la première réaction. On obtient ainsi deux volumes d'hydrogène pour la même quantité de coke réduit, soit pratiquement trois mille deux cents mètres cubes (3,200) de gaz hydrogène par tonne de coke ou environ onze fois le volume produit par tonne de houille (la tonne de houille produit environ 300 mètres cubes de gaz). Le prix de revient du gaz hydrogène ainsi produit est d'environ 1 centime 1/2 le mètre cube. »

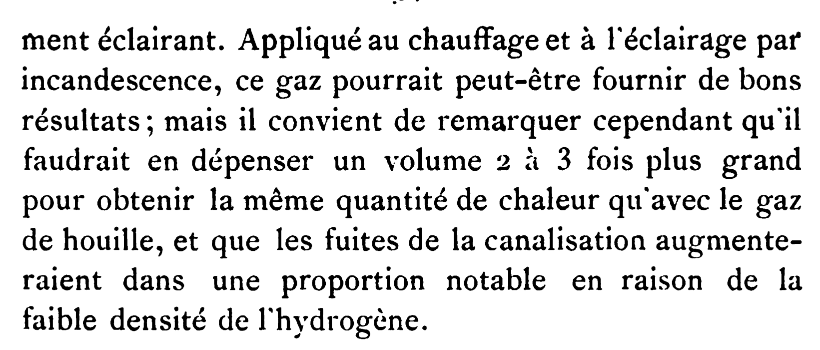
Le prix du mètre cube de gaz hydrogène pur obtenu par voie humide étant d'environ 1 fr. 25, on voit tout l'intérêt que présente ce nouveau mode de fabrication au point de vue qui nous occupe.

D'après les inventeurs, il paraîtrait que ce gaz ne contient qu'une quantité très-minime d'oxyde de carbone, ce qui constituerait un avantage marqué sur le procédé qu'employait M. Selligue [éclairage des Batignolles en 1842] et sur celui de M. Gillard [éclairage de Passy en 1848]. On se rappelle, en effet, que M. Dupuy Delcourt, parti des Batignolles avec son ballon gonflé du gaz de M. Selligue, faillit périr asphyxié en raison des propriétés toxiques de l'oxyde de carbone.

M. Henri Giffard avait essayé de perfectionner ces procédés en faisant passer le mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone, produit par la décomposition de l'eau par le charbon incandescent, à travers du minerai de fer qui transformait l'oxyde de carbone en acide carbonique, mais il dut renoncer bientôt à ce procédé, à cause de la difficulté avec laquelle le gaz traversait la couche de minerai.

Le gaz à l'eau a été employé également pour l'éclairage de la ville de Narbonne; mais tous ces procédés ont été successivement abandonnés, par suite de la difficulté qu'il y a à éviter la condensation des carbures d'hydrogène qu'il faut incorporer au gaz pour le rendre suffisam-





ment éclairant. Appliqué au chauffage et à l'éclairage par incandescence, ce gaz pourrait peut-être fournir de bons résultats; mais il convient de remarquer cependant qu'il faudrait en dépenser un volume 2 à 3 fois plus grand pour obtenir la même quantité de chaleur qu'avec le gaz de houille, et que les fuites de la canalisation augmenteraient dans une proportion notable en raison de la faible densité de l'hydrogène.

Influence des variations de la pression intérieure des gaz sur la force ascensionnelle d'un aérostat. — Zone d'équilibre.

Pour simplifier l'étude de notre système de ballon dirigeable, nous ne nous sommes occupés jusqu'à présent que des variations de force ascensionnelle obtenues au moyen de l'échauffement plus ou moins grand des gaz de l'aérostat ; mais nous ne saurions cependant passer sous silence le procédé indiqué par Meusnier pour obtenir des mouvements de montée et de descente sans qu'il en résulte des pertes de gaz ou de lest, attendu que nous nous réservons la faculté d'employer ce procédé concurremment avec le nôtre (injections de vapeur à l'intérieur de l'aérostat).

Pour fixer les idées sur les résultats que peut fournir la compression des gaz, nous allons chercher quelle serait l'influence d'une augmentation de pression de 100 millimètres sur la force ascensionnelle des 3,454 m. c. de gaz contenus dans l'aérostat de M. Dupuy de Lôme.

La réduction de volume qu'éprouve un mètre cube d'un gaz quelconque sous l'influence d'une augmentation de pression de 1 m/m étant égale à 0 m.c. 000096, on peut compter sur une diminution de force ascensionnelle de :

$$0{,}000096 \times 1{,}293 = 0 \text{ kg. } 00012413$$

pour chaque mètre cube de gaz ou d'air renfermé dans l'aérostat.

Pour une augmentation de pression de 100 m/m., les 3,454 m. c. de gaz renfermés dans l'aérostat de M. Dupuy de Lôme subiraient donc une perte de force ascensionnelle de :

$$100 \times 3{,}454 \times 0{,}00012413 = 42 \text{ kg. } 89$$

correspondant à une réduction de volume d'environ 33 m. c. Ces chiffres montrent l'insuffisance relative du moyen proposé par Meusnier, car une variation de pression de 100 m/m est déjà considérable et nous ne croyons pas qu'il soit prudent de dépasser ce chiffre pour un aérostat construit suivant les procédés ordinaires.

Dans le cas actuel, il suffirait d'abaisser d'environ $2^{\circ}62$, la température des gaz de l'aérostat pour obtenir le même alourdissement, et une augmentation de force ascensionnelle de 43 kil. correspondrait, tout au plus, à une consommation de 1/2 kilogr. de combustible ou à la combustion d'un mètre cube de gaz hydrogène.

Le système de Meusnier ne devra donc être employé que comme moyen secondaire, pour la production des *petites variations* de force ascensionnelle.

Nous terminerons ces quelques indications sur la possibilité d'appliquer le système de Meusnier à notre aérostat en rappelant que pour les ballons munis d'une poche à air (ou, ce qui revient au même, d'une poche à gaz) l'altitude de *la zone d'équilibre* correspondant à un excès de force ascensionnelle donné, est beaucoup plus élevée que pour les aérostats ordinaires qui perdent généralement du gaz au fur et à mesure qu'ils s'élèvent dans l'atmosphère ; de sorte qu'une simple augmentation de force ascensionnelle de 43 kil. permettrait de s'élever à une hauteur assez grande dépendant principale-



ment du volume, et de la nature des gaz du ballon, ainsi que de la différence de température entre l'air ambiant et les gaz de l'aérostat.

Il est évident, en effet, que si la température de l'air est supérieure à celle des gaz de l'aérostat, celui-ci aura toujours tendance à s'élever dans l'atmosphère jusqu'à ce qu'il y ait équilibre de température. Le contraire se produirait si la température de l'air était inférieure à celle de l'aérostat. Dans ce dernier cas, la force ascensionnelle du ballon diminuera constamment pendant les descentes, malgré l'échauffement dû à la contraction ; car les gaz qu'il renferme n'auront pas le temps de se mettre en équilibre de température, et le ballon continuera à descendre d'autant plus rapidement que les couches d'air qu'il traversera posséderont une température plus élevée ; le rapport des poids spécifiques de l'air et du gaz du ballon ira, en effet, sans cesse en diminuant et le poids de l'air déplacé décroîtra beaucoup plus rapidement que ne diminuera la densité moyenne des gaz sous l'influence d'un échauffement partiel.

Ceci explique le mouvement accéléré que prennent souvent les ballons au moment de l'atterrissage et la nécessité de conserver toujours en réserve une quantité de lest suffisante pour se mettre à l'abri des dangers qui peuvent résulter d'une chute trop rapide. Lorsque les couches d'air traversées par le ballon seront chargées d'humidité, l'alourdissement en question deviendra plus considérable encore, car le ballon se chargera d'eau et la densité de l'air ambiant diminuera par suite de la présence d'un excès de vapeur d'eau.

Quant aux variations de la poussée exercée par l'air sur les corps non gazeux du système, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper, leur influence sur la force ascensionnelle d'un aérostat étant à peu près nulle.

CHAPITRE V

Description sommaire d'un ballon-montgolfière à vapeur muni d'une hélice et d'un plan incliné.

Le ballon-montgolfière à vapeur dont nous proposerions la construction aurait la forme d'un cylindre terminé à l'avant par un cône, et à l'arrière par une poupe dont la projection horizontale serait rectangulaire et la projection verticale conique, ainsi que le montrent les figures 3 et 4, Pl. I. Nous avons reconnu, en effet, qu'un aérostat de cette forme se prêtait beaucoup mieux à l'application de notre système qu'un ballon de forme ovoïde, et présentait, en outre, de sérieux avantages au triple point de vue de la facilité de construction, de la stabilité et de la diminution de la résistance opposée par l'air à la marche de l'aérostat (1).

La forme cylindrique permet, d'ailleurs, d'éviter les accidents que pourrait produire le dégonflement partiel

(1) Bien que nous n'attachions pas une très grande importance à cette disposition, nous avons augmenté sensiblement la longueur de la poupe par rapport à celle de la proue, afin de porter vers l'avant le point d'application de la force ascensionnelle et faciliter la marche de l'aérostat lorsqu'on fera usage du plan incliné pendant les descentes.

Une poupe très-longue paraît en effet donner de bons résultats au point de vue de la diminution de la résistance de l'air, surtout lorsque la vitesse est considérable.

La disposition que nous avons adoptée présente quelque analogie avec la forme que la nature a donnée aux oiseaux, et, sans qu'il soit besoin d'entrer dans de savantes considérations à ce sujet, le bon sens paraît indiquer que cette forme doit être également la plus favorable pour la marche des aérostats, comme elle l'est d'ailleurs pour la marche des navires.

Il serait grandement à désirer que l'on fît de nouvelles expériences



d'un aérostat de forme ovoïde par suite des changements amenés dans les efforts auxquels les différents cordages ont à résister.

La partie supérieure du ballon porteur P, sera recouverte d'une étoffe très-solide, analogue à celle du grand ballon captif de l'Exposition de 1878 ; car cette partie de l'aérostat se trouvera soumise à une pression assez considérable et portera, en outre, la soupape de manœuvre S et la soupape automatique S'.

Le reste de l'étoffe du ballon porteur, devant simplement résister à la pression exercée par le gaz en raison de sa faible densité, pourra sans inconvénient, être formé avec le tissu généralement employé pour la confection des ballons gonflés avec le gaz hydrogène. L'emploi de la baudruche serait à essayer pour cette partie de l'aérostat.

Deux cloisons transversales *m*, indiquées en ponctué sur la fig. (1), joueront le rôle de frein et s'opposeront aux mouvements de tangage, ainsi que nous l'avons déjà expliqué à propos de la stabilité des aérostats. Ces cloisons pourront être en taffetas très-léger pesant environ 30 grammes le mètre carré.

Quant à l'enveloppe extérieure, qui emprisonne en quelque sorte le ballon porteur, elle se composera d'une

sur la résistance des fluides, en variant la forme des proues et des poupes, car on ne saurait évidemment se fier aux expériences de Bossut, de d'Alembert et de Condorcet pour la détermination de la forme qu'il convient de donner aux aérostats ; ces expériences ont été faites sur de trop petits modèles et avec des vitesses trop faibles pour qu'on puisse conclure quoi que ce soit. Il est certain cependant que, pour une même longueur cylindrique et une vitesse déterminée, il doit exister un certain rapport entre la poupe et la proue pour lequel la résistance devient minima. Un moyen très-simple d'élucider la question consisterait à se servir de la vitesse d'un train de chemin de fer pour exécuter, par un temps calme, une série d'expériences avec de petits ballons de même volume et de formes variées.

étoffe aussi résistante et aussi légère que possible, sans trop s'attacher à la question d'imperméabilité qui n'a plus ici la même importance que pour le ballon porteur. Cette étoffe pourra être dorée ou argentée (1).

Un certain nombre de bandes d'étoffes *n*, fixées aux parois de l'enveloppe, empêcheront l'obstruction des soupapes à air par l'étoffe du ballon porteur, lorsque, pour une cause ou pour l'autre, le ballon P se trouvera suffisamment dégonflé pour qu'un accident de ce genre puisse se produire.

L'enveloppe de l'aérostat pourrait être recouverte d'un filet ou d'une simple chemise, comme dans le ballon de M. Dupuy de Lôme, mais cette disposition n'est pas indispensable avec un aérostat de notre système.

(1) La question de la résistance des étoffes employées dans la construction des aérostats ayant une importance capitale, nous croyons devoir signaler ici le nouveau procédé de *rouissage* industriel du lin dont M. P. Parsy est l'inventeur.

Ce procédé, découvert seulement en 1886, consiste à soumettre le lin à l'action de l'eau chaude sous pression, à 150° environ de température, et à terminer l'opération en remplaçant cette eau par de la vapeur également sous pression.

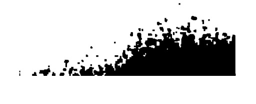
Sous l'action de l'eau chaude, la transformation de la pectose commence, et la vapeur permet ensuite de maintenir la température nécessaire pour terminer la transformation de la pectine en *acide pectique*, sans rien perdre de cette précieuse matière qui constitue le brillant ou graisse du lin et facilite le glissement des fibres dans les diverses opérations de la filature.

L'opération se fait dans une chaudière autoclave, analogue à celle dont on se sert pour la fabrication de l'extrait de viande de Liebig, et il suffit d'une heure et demie pour rouir chaque charge de lin.

La résistance des fils obtenus par ce procédé est environ 3 fois plus grande que celle des fils obtenus par la méthode ordinaire, ce qui mérite évidemment de fixer l'attention des aéronautes.

M. Parsy a confié l'exploitation de ses brevets à la maison Dujardin, de Lille, et nous avons pu constater par nous-même les excellents résultats obtenus dans la filature de M. Agache, à Pérenchies.

Les étoffes obtenues avec la ramie nous paraissent également devoir donner de bons résultats en raison de leur finesse, de leur solidité et de leur imputrescibilité.



Dans le ballon-montgolfière représenté Pl. I, le filet a été complètement supprimé et remplacé par l'étoffe même de l'enveloppe qui se trouve prolongée en J et J' (fig. 2), de sorte que le dessous de l'aérostat forme un plan de glissement qu'on pourra utiliser au besoin comme moyen de propulsion pendant les descentes.

Pour éviter les déchirures possibles, il sera bon de renforcer l'étoffe de l'enveloppe aux endroits où les joues J et J' se détachent des flancs de l'aérostat, surtout en *k* où ces déchirures sont le plus à craindre (fig. 3.)

La nacelle se trouvera suspendue à deux tiges de bambou *t* et *t'* au moyen d'un certain nombre de cordages métalliques disposés comme l'indiquent nos dessins.

— Il conviendra de rapprocher autant que possible la nacelle de l'aérostat, afin que la traction exercée par l'hélice ne se fasse pas sentir à une trop grande distance du point d'application de la résistance de l'air ; mais il ne faudrait pas cependant s'exagérer l'importance de cette dernière condition qui a conduit certains inventeurs à placer l'hélice motrice dans un tube ménagé au centre même de l'aérostat. Il suffit pour s'en rendre compte d'examiner le tableau des résistances éprouvées par l'aérostat de M. Dupuy de Lôme.

M. Dupuy de Lôme a démontré très-clairement, dans son mémoire, que l'inclinaison que pouvait prendre l'aérostat sous l'influence du couple qui tend à l'écarter de sa position d'équilibre était complètement négligeable, même lorsque l'hélice fonctionnait à son maximum de vitesse, et nous pensons qu'il faudrait bien se garder de sacrifier la parfaite stabilité de l'aérostat à la réalisation d'une condition dont l'importance est en somme assez secondaire.

Le mieux serait, à notre avis, de réduire et même de supprimer complètement la résistance du petit cordon-

net du filet qui ne ressort pas à moins de 3 ks. 325 dans l'aérostat de M. Dupuy de Lôme (celle des cordes des suspentes et des balancines étant de 2 k. 194 et celle des tuyaux à hydrogène et à air de o k. 85), et de ne pas craindre d'*augmenter* au besoin la résistance propre de la nacelle et de ses accessoires (o k. 83), si l'aérostat devait atteindre une très-grande vitesse avec une hélice beaucoup plus rapprochée de l'axe de la nacelle que de celui du ballon.

Le système d'aérostat que nous avons adopté, réalise fort bien ces conditions, car la résistance des deux toiles qui remplacent les petits cordonnets du filet, ainsi qu'une partie des cordes des suspentes et des balancines, est à peu près nulle, et l'emploi de cordages en fils de cuivre ou d'acier diminuera beaucoup la résistance totale des suspentes.

Il importe, d'ailleurs, de remarquer que notre système de suspentes se trouve contenu dans deux plans tangents aux flancs de l'aérostat, et que tous les cordages passent par suite dans le *même sillage*, ce qui est une excellente condition, pouvant compenser largement la petite augmentation de résistance due à ce que les joues de l'aérostat s'opposent quelque peu à la libre déviation des filets gazeux au-dessous du ballon.

Un gouvernail G servira à diriger la marche de l'aérostat, à moins toutefois qu'on ne préfère employer pour cela une petite hélice de direction indépendante de l'hélice motrice et pouvant être manœuvrée à la main (projet de Giffard).

Un second gouvernail g, placé horizontalement à l'arrière de la nacelle fonctionnera d'une façon automatique et permettra de conserver l'horizontalité de l'axe longitudinale de l'aérostat, ainsi que nous l'expliquerons plus loin.

Avant de continuer la description de notre aérostat, nous croyons devoir insister tout particulièrement sur l'emploi des cordages métalliques, car, pour une même résistance, ces cordages sont incomparablement plus légers que les cordes en chanvre, et leur faible diamètre permettrait de diminuer beaucoup la résistance opposée par l'air à la marche de l'aérostat.

Si nous nous en rapportons à la brochure de M. Arsène Olivier sur les nouveaux ballons (1876), nous voyons, en effet, qu'une corde composée de cinq fils de cuivre n° 1 ayant 1 m/m de diamètre et pesant 5 grammes par mètre, romprait sous une charge de 150 k. et coûterait 30 centimes le mètre linéaire.

Pour obtenir cette même résistance une corde de chanvre aurait 7 m/m de diamètre, pèserait 34 grammes le mètre et coûterait 50 cent. le mètre linéaire.

Nous recommanderons également, avec M. Arsène Olivier, l'emploi du métal pour la nacelle, afin d'en diminuer le poids, tout en augmentant sa solidité. On pourrait, par exemple, employer pour le bâti des tubes d'acier cintrés à chaud ou assemblés aux angles par des goujons, auxquels ils seraient fixés par des vis ; le remplissage des panneaux et du fond serait en fil de fer maillé. Le fond de la nacelle serait, en outre, recouvert d'une tôle d'acier très-mince pour préserver les mailles en fils de fer des panneaux inférieurs (1).

Sans partager l'optimisme de M. Arsène Olivier, qui prétend pouvoir réduire ainsi à 20 k. le poids d'une nacelle qui pèserait 50 k. si elle était construite suivant

(1) M. Jules Verne, dans *Robert le Conquérant,* propose l'emploi du papier sans colle dont les feuilles imprégnées de dextrine et d'amidon sont serrées à la presse hydraulique. Ce papier possède, paraît-il, une dureté extraordinaire et sert à faire des poulies, des rails, des roues de wagon plus solides que les roues de métal et en même temps plus légères.

les procédés ordinaires, nous pensons que ce mode de construction permettrait d'obtenir des nacelles d'une grande légèreté et complètement à l'abri des chances d'incendie.

Les deux soupapes à gaz S et S' seront protégées contre les intempéries de l'air par de petits toits horizontaux, et la soupape automatique à air A (qui pourra être du système imaginé par M. Giffard) sera placée de préférence à la partie inférieure de l'aérostat, de façon à ce que les aéronautes puissent régler au besoin la pression maxima de l'air en augmentant ou en diminuant la tension des ressorts de la soupape.

Nous donnerons, dans un chapitre spécial, la description de la soupape automatique S' à *fermeture hydraulique*, que nous avons étudiée en vue d'obtenir une fermeture parfaite.

— Le brûleur *B*, dont le système reste à étudier, se trouvera suspendu aux soupapes S et S' et aux parois de l'aérostat au moyen de fils de fer disposés de manière à éviter les mouvements d'oscillation que le balancement de l'aérostat pourrait lui communiquer.

Pour ce qui concerne l'arrivée de l'air et le réglage de la flamme, nous pensons que la meilleure disposition consisterait à placer au sommet du ballon-porteur le réservoir d'air ou *d'oxygène pur* destiné à l'alimentation du brûleur.

Ce réservoir R serait gonflé directement par le ventilateur V, au moyen d'un tuyau *a* placé à côté du tuyau *c* destiné au gonflement de l'enveloppe de l'aérostat. Ces deux tuyaux seront munis de clapets de retenue, de façon à ce que l'air comprimé ne puisse pas s'échap-



per pendant les arrêts du ventilateur, et on devra pouvoir s'en servir isolément ou simultanément suivant les besoins (1).

Un troisième tuyau *b*, muni d'un robinet *r*, sera branché dans le bas du tuyau *a* et conduira au brûleur l'air ou l'oxygène renfermé dans le réservoi r R.

Les choses étant ainsi disposées, l'air contenu dans le réservoir R se trouvera soumis à la pression d'une colonne de gaz hydrogène dont la hauteur dépendra du diamètre donné au ballon-porteur, et l'on conçoit aisément que si le brûleur B se trouve placé à une distance suffisante du réservoir R, l'air qui s'y trouve renfermé s'échappera par les orifices du brûleur sous une pression égale à celle que donnerait une colonne de gaz hydrogène ayant pour hauteur la différence de niveau existant entre le brûleur et le réservoir R. Si cette différence de niveau était par exemple de 10 m., l'air du réservoir R arriverait au brûleur avec un excès de pression d'environ 11 m/m d'eau, en supposant que la force ascensionnelle du gaz hydrogène fût de 1 k. 100 par mètre cube.

Il importe, d'ailleurs, de remarquer que l'action de la pression du gaz sur l'air du réservoir R agira avec toute son intensité, car la perte de pression due au soulèvement de l'étoffe inférieure du réservoir se trouvera évidemment compensée par la pression que l'étoffe supérieure exerce sur l'air contenu dans le réservoir R.

La pression maxima de l'air de l'enveloppe ayant été fixée dans cette étude à 100 m/m, la pression que le ventilateur devra pouvoir fournir en toutes circonstances pour alimenter le réservoir R, sera d'au moins 120 m/m pour un ballon d'environ 20 m. de diamètre.

La partie du tuyau *b*, voisine du brûleur, sera entière-

(1) Si la pression donnée par le ventilateur n'était pas suffisante, on pourrait se servir d'un soufflet convenablement disposé.



ment en métal et munie d'un certain nombre de toiles métalliques, afin que la combustion ne puisse pas se propager à l'intérieur de ce tuyau.

Les chances d'explosion à l'intérieur de l'aérostat seront d'ailleurs presque nulles, attendu qu'il résulte des expériences de Davy que l'inflammation des mélanges d'air et de gaz combustible est très-difficile lorsque l'un d'eux se trouve en assez grand excès ; ainsi un mélange de 1 volume de protocarbure d'hydrogène avec 1 volume d'air ne brûle qu'avec la plus extrême difficulté, et il serait impossible de faire brûler un mélange de 2 volumes de protocarbure avec 1 volume d'air.

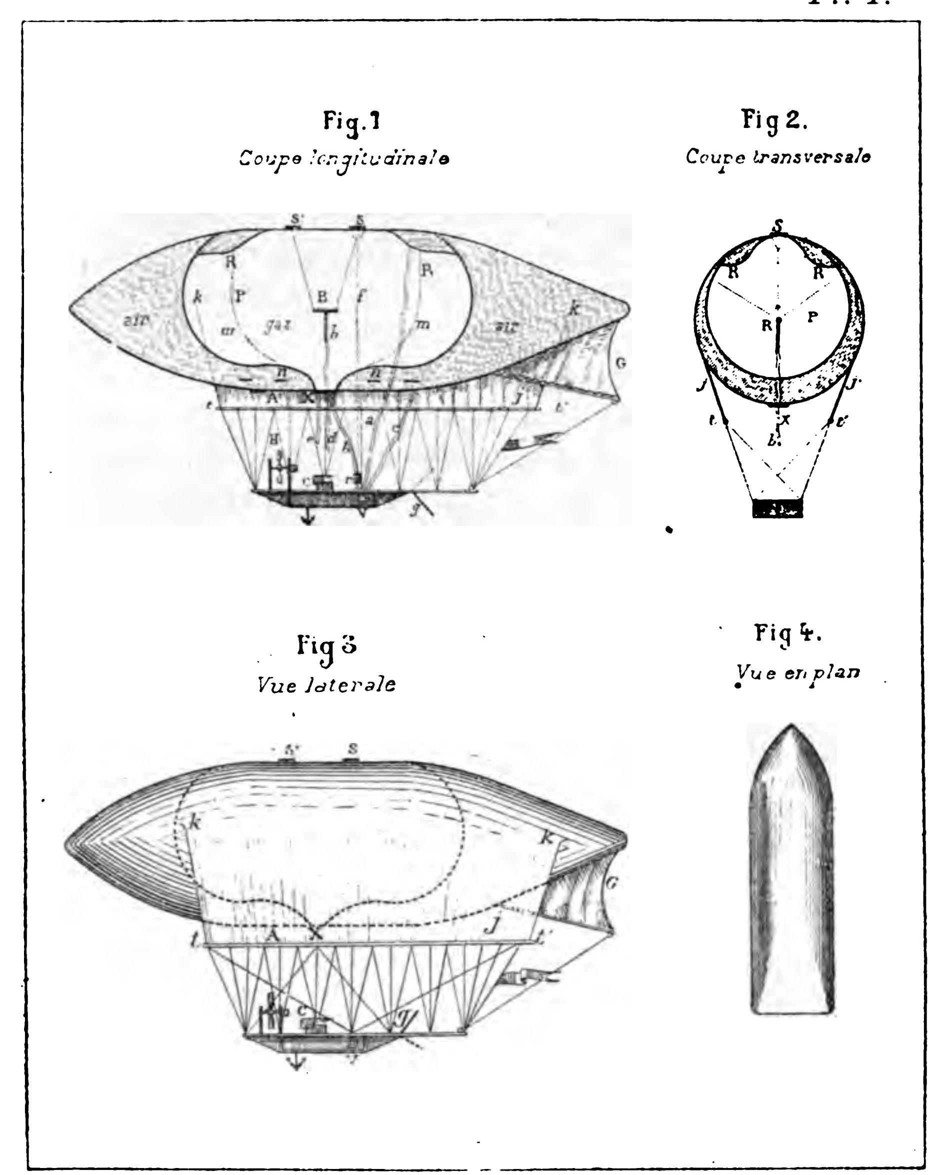
Un mélange de 1 volume d'hydrogène carboné pour 15 volumes d'air ne s'enflammerait plus, même au contact d'une flamme.

Ces chiffres montrent qu'il n'y aura jamais à craindre d'explosion dans le *ballon-porteur*, attendu que la proportion d'air y sera toujours très-faible, malgré les phénomènes d'endosmose qui peuvent se produire à travers les parois du ballon. Mais il n'en sera pas tout à fait de même dans l'enveloppe, car la vitesse d'écoulement de l'air et de l'hydrogène à travers l'étoffe du ballon-porteur étant en raison inverse des racines carrées de leur densité, il pénétrera 4 fois plus d'hydrogène dans l'air de l'enveloppe, que d'air dans le ballon-portéur, et il arriverait peut-être un moment où la combustion pourrait se faire, surtout dans le haut de l'aérostat où le gaz aura tendance à se réunir.

Aussi, bien que l'air de l'enveloppe puisse être fréquemment renouvelé, sera-t-il toujours préférable de faire usage d'un brûleur d'air placé au milieu du ballon-porteur.

L'étincelle électrique nous paraît très-commode pour produire l'inflammation ; mais on pourrait très-bien la




Fig. 1
Coupe longitudinale
air
gaz
air
Fig 2.
Coupe transversale
Fig 3
Vue laterale
Fig 4.
Vue en plan



remplacer par une flamme alimentée par un petit réservoir rempli d'air ou d'oxygène. L'allumage de cette flamme se ferait avec l'étincelle électrique dont il sera toujours prudent de se réserver l'emploi facultatif.

— L'eau de condensation produite par la combustion du gaz et par les injections de vapeur s'écoulera par un tuyau *d* dont l'extrémité inférieure devra toujours plonger d'au moins 20 centimètres dans un vase rempli d'eau, afin d'éviter que le gaz ne s'échappe sous l'influence de l'excès de pression que possèdent les gaz de l'aérostat.

Enfin un cinquième tuyau *e* permettra d'utiliser au besoin une partie du gaz du ballon pour le chauffage de la chaudière, ainsi que nous le verrons tout à l'heure. Ce tuyau *e* communiquera avec un manomètre, et sera muni à sa partie inférieure d'un robinet et d'un régulateur de pression permettant de régler à volonté l'intensité du foyer de la chaudière.

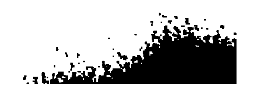
Les 3 tuyaux *b*, *d* et *e* seront fixés à une sorte de châssis ou plateau X analogue à celui que M. Giffard a employé pour son grand ballon captif de 1878 (1).

(1) Nous croyons intéressant de donner ici la description suivante des soupapes de M. Giffard que nous empruntons à l'intéressant rapport de M. Miret sur l'aérostation à l'Exposition de 1878 :

« *Soupapes.* — Les aérostats ordinaires sont pourvus d'une seule sou-« pape placée au sommet du ballon et restent constamment ouverts à « la partie inférieure. Le ballon captif de M. Giffard est muni de deux « soupapes, l'une au sommet, l'autre à la base.

« La soupape supérieure est sans objet dans les ascensions captives ; « mais si le câble, malgré toutes les garanties qu'il présente, venait à se « rompre, elle permettrait de manœuvrer l'aérostat devenu libre, comme « on manœuvre tous ceux que nous voyons fréquemment parcourir les « airs.

« La soupape inférieure s'ouvre *automatiquement* sous la pression du « gaz, dès que ce dernier est en excès. Elle permet au gaz de s'échap-« per aisément ; mais elle a sur l'ouverture toujours béante, cet avan-« tage sensible, surtout pour un ballon dont l'accès est ouvert au public, « d'empêcher le gaz de se dégager d'une manière permanente et de ré-



Ce plateau donnera passage au fil de fer *f* servant à la manœuvre de la soupape S', et sera muni en outre de deux orifices dont l'un recevra le tuyau de gon-

« pandre constamment son odeur fort désagréable parmi les voyageurs « de la nacelle.

« M. Giffard a fait construire des soupapes d'un modèle tout nouveau. « Celle du haut et celle du bas ont entre elles de très grandes analogies ; « mais elles diffèrent assez, dans quelques-unes de leurs parties, pour « qu'on ne puisse pas les confondre dans une description commune.

« La soupape supérieure consiste en un disque métallique circulaire « dont les bords sont redressés, elle a la forme d'une sorte de plateau « à liqueurs dont les bords cylindriques auraient 7 ou 8 centimètres de « hauteur et le fond un diamètre de 55 centimètres. Un ressort à bou- « din supporte le disque métallique et le maintient fortement appuyé « contre une couronne de caoutchouc placée au-dessus. Les bords « redressés du disque, en s'incrustant dans le caoutchouc, rendent la « fermeture parfaite. La corde qui met la soupape en communication « avec la nacelle est fixée au disque même.

« Tout ce mécanisme est adapté au centre d'un châssis circulaire, en « étoffe très-épaisse, qui est, elle-même, solidement reliée à l'enveloppe « du ballon. L'enveloppe du ballon et l'étoffe du châssis viennent se « croiser l'une sur l'autre ; deux cercles, l'un en dessus, l'autre en des- « sous, fortement reliés ensemble par des boulons, pincent les deux « étoffes et les font adhérer l'une à l'autre d'une manière aussi parfaite « qu'on puisse le désirer.

« Enfin, une tente en étoffe, maintenue par une légère charpente en « bois au-dessus de la soupape, met celle-ci à l'abri des intempéries de « l'air.

« La disposition de la soupape inférieure diffère de la précédente en « ce que le ressort à boudin est plus sensible ; il faut, en effet, qu'il per- « mette au disque de s'abaisser sous l'effort d'une *très-légère pression* « de gaz en excès. Ce disque est plus grand que celui du sommet du « ballon ; son diamètre atteint 0m80 et livre, au besoin, passage à des « masses considérables de gaz.

« L'étoffe fermant le châssis de la soupape inférieure, est munie de « quatre orifices ; le premier laisse passer, à frottement doux, la corde « de la soupape supérieure ; le second n'est ouvert que pour recevoir « le tuyau de gonflement qui amène l'hydrogène ; le troisième est fermé « par une vitre qui permet d'examiner l'intérieur de l'aérostat ; le qua- « trième donne passage à un manomètre indiquant la force de pression « du gaz enfermé dans l'enveloppe.

« Le mécanisme des soupapes de M. Giffard est tout aussi simple que « celui des soupapes à clapets généralement employées en aérostation. « Il a cet avantage précieux de donner une fermeture beaucoup plus « rigoureuse pendant toute la durée d'une ascension. »

flement du ballon-porteur, tandis que l'autre se trouvera fermé par une glace qui permettra d'examiner l'intérieur de l'aérostat et de surveiller le fonctionnement du brûleur B.

Les cordes ou les fils métalliques servant à la manœuvre des soupapes pourront passer à leur sortie dans des tuyaux extensibles en caoutchouc de façon à éviter toute déperdition de gaz.

Pour plus de simplicité, nous avons supprimé les injections de vapeur dans l'air de l'enveloppe, bien qu'il puisse se présenter des circonstances où il soit plus avantageux d'échauffer l'air de l'enveloppe que le gaz du ballon-porteur.

Choix de la machine à vapeur.

Une hélice de petit diamètre, mais animée d'une très-grande vitesse de rotation, produira toujours un effet utile égal, sinon supérieur, à celui d'une hélice de grand diamètre dont le poids, hors de proportion avec l'effet à obtenir, donne lieu à des frottements énormes et rend très difficile la bonne construction du propulseur.

Il conviendra donc de choisir un moteur à grande vitesse, *actionnant directement l'hélice*, afin de diminuer le poids de la machine et éviter, en outre, les pertes de travail dues à la présence d'engrenages, ou autres organes de transmission de mouvement, qui diminuent dans une proportion considérable le rendement des machines (aérostats électriques).

Les petites machines à trois pistons du système Brotherhood, faisant 1,000 à 2,000 tours à la minute, conviendraient parfaitement pour la mise en mouvement de l'hélice aérienne.



Dans nos calculs nous supposerons, toutefois, que la machine employée soit du type Giffard, bien que le poids de cette machine soit relativement énorme si on le compare à celui des moteurs à grande vitesse que l'on construit actuellement.

Soupapes automatiques à fermeture hydraulique.

Nous avons vu plus haut que notre aérostat se trouvait muni d'une soupape ordinaire S, manœuvrée en cas de besoin par les aéronautes, et deux soupapes S' et A devant s'ouvrir *automatiquement* sous la pression du gaz ou de l'air insufflé par le ventilateur.

A en juger par les excellents résultats qui ont été donnés par la grande soupape du ballon captif de 1878, nous ne pensons pas qu'il soit indispensable d'employer une soupape à fermeture hydraulique pour la soupape à gaz S, attendu que ce genre de fermeture présente l'inconvénient d'exiger un diamètre un peu plus grand que celui de la soupape de M. Giffard que nous avons adoptée comme soupape à gaz ordinaire (1).

Mais, pour ce qui concerne la soupape S', placée au sommet de l'aérostat, nous doutons que les soupapes automatiques qui ont été employées par Guyton de Morveau, Dupuy de Lôme et Henri Giffard soient d'une étanchéité et d'une sensibilité suffisantes.

(1) Le principe de la soupape décrite par M. Jobert dans *l'Aéronaute* de décembre 1882 nous parait également excellent, en ce sens que cette soupape permet d'effectuer les manœuvres courantes au moyen d'une petite soupape auxiliaire placée au centre de la grande soupape spécialement réservée à l'atterrissage.

La figure 11 montre la disposition générale de la soupape que nous proposerions d'adopter.

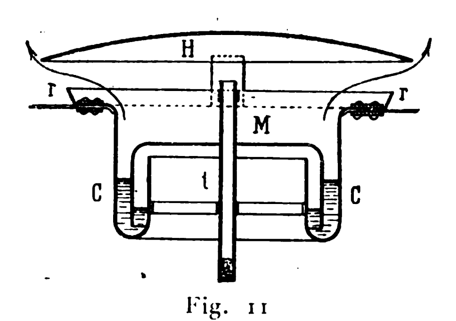


Fig. 11

Comme on le voit, cette soupape se compose simplement d'une cloche M, en cuivre suffisamment mince, dont les bords viennent plonger dans une cuvette *c* renfermant une certaine quantité de glycérine ou d'huile minérale neutre d'environ 0, 85 de densité (1).

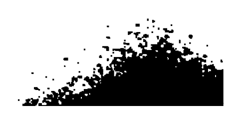
Un petit tube *t*, ouvert à sa partie supérieure, se trouve soudé au centre de la cloche *M* et sert à guider la course de la soupape.

Un rebord *r* et un plateau *H*, sur lequel vient buter l'extrémité du tube *t*, complètent l'appareil et mettent la soupape à l'abri des intempéries de l'air.

Les choses étant ainsi disposées, il suffira de lester convenablement la cloche M, en laissant tomber de la grenaille de plomb au fond du tube *t*, pour que la soupape s'ouvre aussitôt que la pression du gaz du ballon porteur atteindra la limite supérieure qu'elle ne doit pas dépasser, soit par exemple 125 mm.

Nous terminons ces quelques indications sur la disposition générale des soupapes de notre aérostat en rappelant que la manœuvre de la grande soupape à gaz S se fera au moyen d'une simple corde métallique fixée à une petite tringle en métal traversant à frottement doux

(1) La glycérine pure conserve encore sa fluidité à — 35° et l'huile minérale, connue dans le commerce sous le nom d'oléonaphte, ne commence à devenir visqueuse qu'à partir de — 25°. — Ces liquides ne s'évaporent pas aux températures ordinaires.



le plateau X placé directement au-dessous du ballon porteur [fig. 2, pl. I].

Les fuites qui pourraient se produire par la soupape automatique A destinée à régler la pression de l'air contenu dans l'enveloppe n'ayant pas la même importance que pour le gaz, on pourra adopter pour cette soupape une dispositien analogue à celle des soupapes automatiques employées par M. Dupuy de Lôme et par Henri Giffard.



CHAPITRE VI

—

Chaudière aérostatique pouvant utiliser séparément ou simultanément les combustibles solides, liquides ou gazeux. — Réalisation pratique du chauffage de la chaudière au moyen du gaz du ballon porteur.

Avant de commencer la description de notre système de chaudière, nous croyons utile de dire quelques mots de l'emploi des tôles d'acier renfermant une certaine quantité de tungstène ou de chrome ; car ces métaux ayant la propriété d'améliorer beaucoup les qualités de l'acier, il y a tout lieu de croire que leur emploi permettrait de réduire les épaisseurs et, par suite, le poids des tôles entrant dans la construction des chaudières.

Nous lisons, en effet, dans les *Etudes métallurgiques* publiées par M. Gruner dans les *Annales des Mines* de 1879, que les aciers chromés supportent une charge *presque double* de celle qui répond à la limite d'élasticité des aciers fondus ordinaires renfermant la même dose de carbone.

Le chrome augmente aussi la résistance au choc et la charge de rupture; et quoique les aciers chromés soient plus durs à travailler, on constate néanmoins qu'ils s'allongent autant sinon plus, avant de se rompre, et que leur cassure reste à *nerfs* tant qu'ils n'ont pas subi la trempe.

Ainsi un acier à 0,22 de chrome et 0,006 de carbone ne cède, avant la trempe, qu'à la charge de 70 à 75 ks, avec 18 à 20 o/o d'allongement mesuré sur o m. 20, et

[redacted]

la *striction* ou section de rupture est le 1/3 seulement de la section primitive. Ce même acier trempé à l'huile, ne se rompt que sous la charge de 140 kilogr. et la limite d'élasticité est alors très voisine de celle de rupture. — Un autre tenant jusqu'à 0,040 de chrome et 0,011 de carbone, offrait aussi *avant la trempe*, une cassure nerveuse et ne s'est rompu que sous la charge de 115 kilogr.

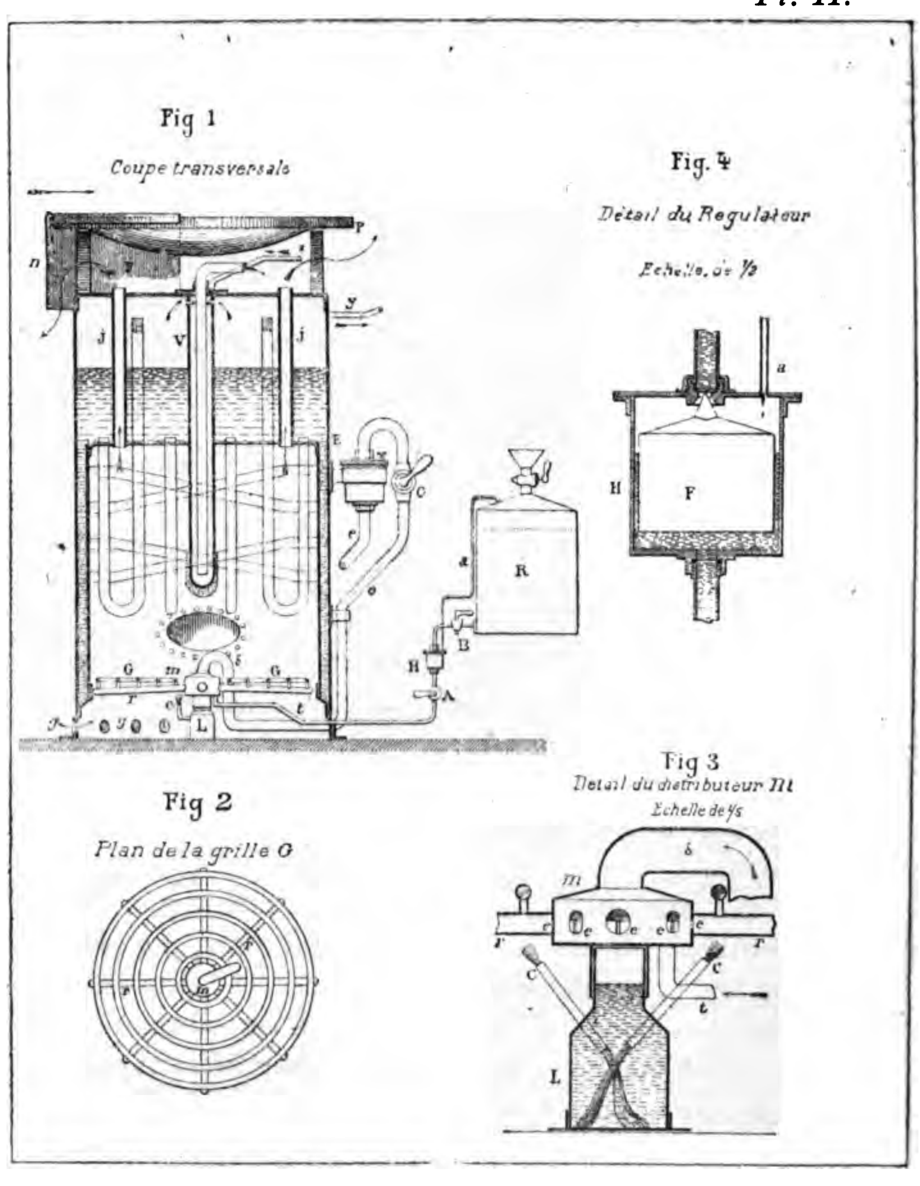
La charge limite d'élasticité des *aciers de bonne qualité* étant d'environ 30 kilogr. par millimètre carré et la charge de rupture de 70 kilogr., il est permis d'espérer que l'emploi des tôles en acier chromé permettrait de réduire beaucoup l'épaisseur et par suite le poids des tôles des chaudières aérostatiques.

Un autre moyen que l'on pourrait peut-être employer concurremment avec le premier consisterait à fretter la chaudière avec des fils d'acier, ainsi que cela se fait actuellement pour augmenter la puissance et la résistance des canons.

Nous supposerons néanmoins dans cette étude que le poids moyen de notre chaudière ne puisse pas descendre au-dessous de 1 k. 5 par kilogramme de vapeur produite, bien qu'il soit facile de descendre au-dessous de ce chiffre, avec un foyer alimenté par un combustible liquide ou gazeux.

On sait, en effet, que la puissance calorifique des combustibles liquides est généralement beaucoup plus grande que celle des combustibles solides, ce qui permet d'obtenir une température plus élevée à laquelle correspond une augmentation notable de la quantité de vapeur produite par mètre carré de surface de chauffe.

Ainsi la puissance calorifique de l'huile de pétrole varie de 10,700 à 11,000 calories, tandis que celle du coke de bonne qualité ne dépasse guère 7,500 à 8,000 ; de sorte que si 1 k. de coke peut produire pratiquement


Fig 1
Coupe transversale
Fig. 4
Détail du Regulateur
Echelle de 1/2
Fig 2
Plan de la grille G
Fig 3
Detail du distributeur m
Echelle de 1/5



[redacted]

8 ks. de vapeur, 1 k. d'huile de pétrole en produira environ 11 kilogrammes.

La puissance calorifique de l'alcool serait d'environ 6,400, et celle de l'hydrogène de 29,000. Quant à la puissance calorifique du gaz d'éclairage, elle varie beaucoup suivant la composition ; mais nous pensons cependant qu'en la faisant égale en moyenne à 9,400 on ne s'éloignera pas beaucoup de la vérité.

Ces chiffres s'appliquent évidemment au cas où les vapeurs ne sont pas condensées ; s'il en était autrement, il faudrait prendre, par exemple, 34,462 pour la puissance calorifique de l'hydrogène, ainsi que nous l'avons fait pour le calcul de l'échauffement produit par la combustion d'un mètre cube d'hydrogène à l'intérieur du ballon porteur.

Ceci posé, nous allons passer sans plus tarder à la description de la chaudière aérostatique que nous avons imaginée en vue de brûler indifféremment des combustibles solides, liquides ou gazeux.

La figure 1 de la planche II montre l'application de notre système de chauffage à une chaudière multitubulaire.

La grille G du foyer, représentée en plan par la fig. 2, se compose d'une série de tubes concentriques supportés par huit tubes *r* soudés à une sorte de moyeu *m*. Chacun des rayons r porte, du côté du moyeu, une petite cloison *e* fendue en son milieu, afin que le pétrole, amené au foyer par le tube *t*, se répartisse bien également dans les tubes *r* (fig. 3).

— Le pétrole ou l'alcool, réduit en vapeur, se répandra uniformément dans toutes les parties de la grille G

et viendra brûler par une multitude de petites fentes pratiquées sur les côtés des tubes circulaires. Pour que l'allumage se produise aussitôt que le pétrole ou le gaz pénétrera dans les tubes *r*, il sera bon de placer, au-dessous de chacun de ces tubes, des mèches en amiante ou en coton *c* venant plonger au fond d'un vase L qu'il faudra avoir soin de soustraire au rayonnement direct du foyer. Ces mèches alimentées par de l'esprit de vin resteront constamment allumées et serviront d'allumoirs lorsqu'on voudra remplacer le chauffage au pétrole par le chauffage au gaz, et réciproquement.

Le foyer étant en pleine activité, la chaleur transmise à la grille sera plus que suffisante pour produire la vaporisation complète de l'essence qui devra être bien rectifiée, afin d'éviter l'encrassement possible des tubes.

— Il faudra, en outre, que l'écoulement du pétrole puisse être facilement réglé par l'aéronaute, et que le débit correspondant à une ouverture donnée du robinet d'introduction reste rigoureusement constant, quelles que soient les variations du niveau du liquide dans le réservoir R.

Ce résultat sera facilement obtenu au moyen du petit appareil représenté par la fig. 4. Cet appareil se compose essentiellement d'un flotteur F surmonté d'un cône venant fermer plus ou moins l'orifice d'écoulement *o*, lorsque le liquide contenu dans la boîte cylindrique H a atteint le niveau qu'il ne doit pas dépasser.

Un tube *a*, de très petit diamètre, met la partie supérieure de la boîte H en communication avec l'atmosphère, de façon à ce que l'écoulement par le robinet A se fasse toujours sous une *pression constante* mesurée par la hauteur du liquide contenu dans la boîte H et dans la partie du tube *t* située au-dessus du robinet.



Les choses étant ainsi disposées, on voit que si la section du flotteur est suffisamment grande par rapport à celle de l'orifice *o*, le débit de l'appareil restera sensiblement le même, malgré les variations de la pression sous laquelle se fera l'écoulement en *o*. Un deuxième robinet *B* placé au-dessus du régulateur permettra d'interrompre complètement le chauffage, sans qu'il soit nécessaire de toucher au robinet de réglage A.

La fig. 1 montre la disposition générale à laquelle nous nous sommes arrêtés pour l'alimentation du foyer. Le liquide destiné au chauffage de la chaudière sera versé dans le réservoir d'alimentation R au moyen d'un entonnoir muni d'un robinet qu'il faudra avoir soin de laisser ouvert pendant toute la durée du chauffage. Un certain nombre d'orifices *g* pratiqués dans le bas de la chaudière permettront de régler à volonté la quantité d'air nécessaire à la combustion.

Les gaz brûlés pénétreront dans une boîte à fumée F après avoir traversé les tubes J qui relient le couvercle de la chaudière au ciel du foyer.

Une multitude de tubes en U, de très-petit diamètre, sont disposés à peu près comme dans la chaudière Thirion et un grand nombre de tubes transversaux viennent encore augmenter la surface de chauffe.

Afin d'activer la circulation de l'eau dans les tubes en U, nous avons prolongé l'une de leurs branches, de manière à ce que l'eau entre par la branche la plus courte et que la vapeur sorte par la plus longue. Les extrémités des branches ainsi prolongées sont fermées et percées de petits orifices capillaires destinés à diminuer la quantité d'eau entraînée à l'état vésiculaire.

C'est aussi dans le but d'éviter les entraînements d'eau et de surchauffer légèrement la vapeur, que nous avons fait plonger le tuyau de prise de vapeur à l'inté-

rieur d'un gros tube V percé également d'un grand nombre de petits orifices à sa partie supérieure.

Enfin, si rien ne s'y oppose, il ne faudra pas négliger de faire usage d'un cylindre moteur muni d'une enveloppe avec circulation de *vapeur humide* venant directement de la chaudière, et possédant, par suite, une température *constante* et *légèrement* supérieure à celle de la vapeur motrice. La prise de vapeur pour l'enveloppe sera faite, par exemple en *y* et le retour à la chaudière s'effectuera par un petit tuyau *z* ramenant la vapeur dans le tube V, en vertu de la chute de pression qu'elle subira en traversant les petits orifices pratiqués à la partie supérieure de ce tuyau. L'eau condensée dans l'enveloppe sera recueillie dans un réservoir spécial, placé au-dessous du cylindre moteur, et communiquant avec l'enveloppe au moyen d'un petit tuyau muni d'un robinet que le mécanicien ouvrira de temps à autre, lorsqu'il jugera utile de purger l'enveloppe. Nous pensons que cette disposition, fort simple comme on voit, permettrait de réduire beaucoup le poids de vapeur consommé par cheval et par heure, surtout si l'on faisait usage d'une machine à détente et à condensation.

Il importe d'ailleurs de remarquer que, pour une machine aérostatique, l'important est de réduire le plus possible la quantité de vapeur dépensée, quitte à brûler, s'il le faut, un peu plus de combustible pour réchauffer les parois du cylindre et obtenir une vapeur motrice suffisamment sèche ou même légèrement surchauffée.

Enfin, dans le but d'éviter que l'extrémité inférieure du tuyau V ne se brûle pendant les arrêts de la machine, ou pendant la mise en pression de la chaudière, il sera bon de l'entourer d'une garniture en amiante maintenue par un fil de nickel enroulé autour du tube V.

L'alimentation de la chaudière se fera au moyen d'un

injecteur Giffard ou d'une simple bouteille d'alimentation si la température de l'eau était trop élevée pour qu'on puisse faire usage d'un Giffard ; on pourrait encore se servir d'un *alimentateur automatique* construit avec soin, afin de simplifier le service du mécanicien.

Le chauffage de notre chaudière devant pouvoir se faire également au moyen du gaz renfermé dans le ballon porteur, nous allons examiner maintenant comment il serait possible de réaliser pratiquement ce mode de chauffage auquel M. Henri Giffard attachait, avec raison, une si grande importance.

La première condition à réaliser est évidemment de faire arriver le gaz au foyer de la chaudière, ce qui ne présente aucune difficulté avec un aérostat de notre système, puisqu'on pourra toujours donner à l'air de l'enveloppe une pression suffisante pour refouler le gaz jusqu'à la chaudière.

Pour que la solution du problème soit complète, il faudra, en outre, que l'écoulement du gaz se fasse sous une pression constante, et que l'aéronaute puisse se servir à volonté du chauffage au gaz seul ou combiné avec le chauffage au pétrole.

L'écoulement régulier du gaz sous une pression constante sera facilement obtenu au moyen d'un régulateur de pression E E et d'un robinet C placés sur le tuyau *e* qui amène le gaz du ballon porteur au foyer de la chaudière.

Après avoir traversé le régulateur E, le gaz arrivera à la grille par un tuyau métallique venant déboucher à la partie supérieure du moyeu *m*.

Les choses étant ainsi disposées, on voit que l'écoule-

ment du gaz et du pétrole sera facilement réglé par la manœuvre des robinets A et C qu'on pourra, d'ailleurs, munir d'une échelle graduée indiquant les quantités de gaz ou de liquide écoulées en une heure.

— Nous compléterons la description de notre chaudière en disant qu'elle devra être entourée, ainsi que toute la tuyauterie, d'une enveloppe en liège très soigneusement faite, afin d'éviter les déperditions de chaleur.

Une large plaque de tôle P supportée par deux ou trois rangées circulaires de toiles métalliques, placées sur le couvercle de la chaudière, rompra la colonne des gaz brûlés et l'empêchera de chauffer trop fortement en un même point les parois de l'enveloppe de l'aérostat. Cette plaque portera un petit rebord et sera légèrement cintrée en son milieu, de façon à ce qu'on puisse y verser au besoin une certaine quantité d'eau. Un écran mobile *n* facilitera le tirage et la sortie régulière des gaz brûlés à travers les toiles métalliques.

Le tirage de la chaudière se fera d'ailleurs dans d'excellentes conditions par suite de la suppression de la couche de combustible qui est, comme on le sait, la principale cause de résistance dans les foyers ordinaires.

L'emploi d'un combustible liquide ou gazeux supprimera en outre l'entraînement des escarbilles et les causes d'incendie qui peuvent en résulter.

Nous croyons inutile de calculer ici le poids et les dimensions d'une chaudière construite dans ces conditions, mais nous donnerons cependant un aperçu de la façon dont on pourrait déterminer la section des tuyaux *t* et *e*,



afin de montrer que les dimensions de ces tuyaux ne sauraient donner lieu à aucune difficulté de construction.

Cherchons, pour fixer les idées, la section minima qu'il conviendrait de donner au tuyau *t* pour que 1 k. de pétrole puisse s'écouler en une heure sous la pression exercée par une colonne de liquide de 10 centimètres.

La vitesse d'écoulement donnée par la formule $V = \sqrt{2gH}$ étant égale à 1 m. 53, en prenant 0,84 pour la densité de l'huile de naphte bien épurée, la section minima correspondant à l'écoulement de 1 kilogr. de pétrole à l'heure sera donnée par la relation :

$$S \times 1{,}53 \times 3600 = \frac{0{,}001}{0{,}84}$$

d'où l'on tire :

$$S = 0^{mq.}\,0000002164$$

Ceci montre qu'un tuyau ayant seulement 2 mm. de diamètre intérieur laisserait écouler 14 kil. 52 de pétrole à l'heure, en ne tenant pas compte, bien entendu, des pertes de charge dues au frottement du liquide contre les parois du tuyau et des autres causes d'erreur qui peuvent diminuer la vitesse d'écoulement que nous venons de trouver.

En admettant que 1 kil. de pétrole puisse produire 10 kil. de vapeur, on voit que cette consommation de combustible correspond à une production de 145 kil. de vapeur, suffisante pour alimenter une machine d'environ 10 chevaux.

— Pour le gaz, le calcul se ferait de la même façon, et l'on pourrait, à la rigueur, employer la même formule pour calculer les vitesses d'écoulement ; les formules données par la théorie thermodynamique n'étant pas beaucoup plus exactes lorsqu'il s'agit de faibles pressions.

La vitesse d'écoulement de l'hydrogène, sous une

pression minima de 10 mm. donnée par le régulateur E, serait de 53 m. 22 par seconde ; et la section minima du tuyau *e*, correspondant à l'écoulement de 1 m. c. de gaz à l'heure, de 0 m.q. 00000522.

La quantité de chaleur produite par la combustion de 1 m. c. de gaz hydrogène, soit 3085 calories, étant à peu près équivalente à celle que peut fournir la combustion de 0 k. 25 de pétrole, on voit que la section du tuyau *e* devra être environ 25 fois plus grande que celle du tuyau à pétrole *t* pour un chauffage de même intensité.

En d'autres termes, si l'on voulait obtenir avec le gaz la même quantité de vapeur qu'avec 14 ks 52 de pétrole, il faudrait un tuyau d'environ 10 mm. de diamètre intérieur au lieu d'un tuyau de 2 mm.

Bien que, dans la pratique, les sections données aux tuyaux *e* et *t* doivent être beaucoup plus grandes, les chiffres que nous venons d'établir donnent une idée des limites entre lesquelles peut varier la section de ces tuyaux, et permettront de déterminer avec assez d'exactitude les dimensions des régulateurs H et E.

— Nous ferons remarquer, en terminant, qu'il serait également assez facile de se rendre compte du poids de la vapeur envoyée dans le ballon porteur, en faisant usage de robinets dont on connaîtrait le débit sous différentes pressions.

Baromètre électro-moteur. — Manomètres et thermomètres avertisseurs.

Nous avons vu précédemment que dans notre système d'aérostat les montées étaient obtenues par l'échauffement des gaz résultant de la condensation de la vapeur



d'échappement de la machine sur les parois du ballon porteur, et que les plans inclinés ne pouvaient guère être utilisés que pendant les descentes (1).

Il en résulte que si l'aéronaute ne voulait pas perdre de vapeur pendant les descentes, il faudrait interrompre complètement le fonctionnement de la machine lorsque l'aérostat aura atteint sa plus grande hauteur, et attendre que le refroidissement des gaz ait produit une force descensionnelle suffisante pour que l'action de l'hélice puisse être remplacée par celle du plan incliné.

Il y aurait donc un moment où l'aérostat, privé de tout moteur, serait assez difficile à maintenir dans la direction voulue, à moins qu'on ne fît usage d'une petite hélice mue à bras d'homme, de façon à imprimer momentanément à l'aérostat une vitesse assez grande pour que le gouvernail produise son effet.

L'emploi de cette petite hélice de direction serait fort utile dans le cas où l'on viserait à une grande économie de vapeur; mais, pour la généralité des cas, nous pensons qu'il vaudrait mieux se contenter de faire fonctionner la machine à échappement libre jusqu'à ce que le ballon ait commencé à descendre avec une vitesse suffisante.

Avec une machine *à condensation*, la conduite de l'aérostat serait beaucoup plus simple; car alors on n'aurait plus à se préoccuper de ces mouvements réguliers de montée et de descente, et il suffirait de maintenir le ballon dans la couche d'air la plus favorable à sa marche.

Le petit appareil représenté par la figure théorique ci-contre, me semble appelé à rendre de réels services, en ce sens qu'il permettrait de régler pour ainsi dire à

(1) Pour que l'action des plans inclinés puisse être utilisée pendant les montées aussi bien que pendant les descentes, il faudrait que l'aérostat fût muni d'un chassis horizontal fixé sur le pourtour de l'enveloppe.

volonté, et d'une façon *automatique*, l'amplitude des mouvements de montée et de descente d'un ballon-montgolfière à vapeur de notre système.

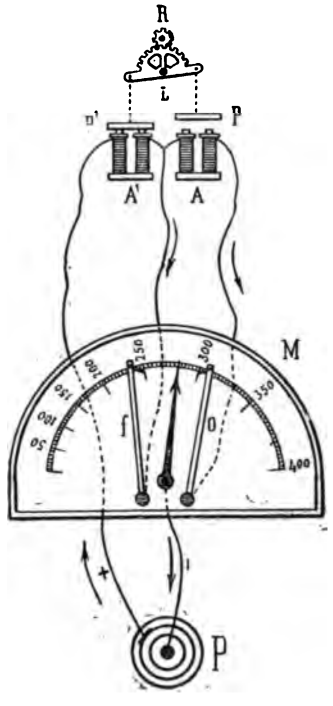


Fig. 12

Cet appareil consiste simplement en un baromètre métallique très sensible M dont l'aiguille se trouve en communication avec l'un des pôles d'une pile P.

Le cadran de ce baromètre porte une graduation indiquant les différentes altitudes de o à 4,000 mètres, hauteur qu'il convient de ne pas dépasser dans la pratique.

Deux électro-aimants AA' agissent sur le robinet de vapeur R par l'intermédiaire d'un balancier L aux extrémités duquel sont suspendus les plateaux PP' des électro-aimants.

Sur le cadran du baromètre peuvent se mouvoir deux index *o* et *f* en communication directe avec les électro-aimants.

Les choses étant ainsi disposées, on voit que lorsque l'aiguille du baromètre touchera sur l'index *o*, le plateau P sera violemment attiré par l'électro-aimant A et le robinet R se trouvera ouvert.

A ce moment la vapeur de la chaudière pénétrera donc dans le ballon porteur, et l'aérostat s'élèvera dans l'atmosphère jusqu'à ce que l'aiguille du baromètre, revenant sur ses pas, ait atteint l'index f qui correspond à la fermeture du robinet R.

Ainsi, si l'on voulait par exemple maintenir l'aérostat

au milieu d'une couche d'air située entre 2500 et 3000 m. d'altitude, il faudrait disposer les index de façon à ce qu'ils comprennent entre eux les divisions allant de 2500 à 3000; et si l'on voulait rester à peu près à la même hauteur, à 1500 mètres par exemple, il suffirait de rapprocher les deux index de façon à ce qu'ils comprennent seulement la division 1500.

On pourrait ajouter à cet appareil deux petites sonneries électriques, ayant chacune un timbre différent, afin que l'aéronaute soit prévenu lorsque le ballon aura atteint l'altitude voulue et qu'il puisse exécuter en temps utile les manœuvres nécessaires.

La pression intérieure des gaz du ballon pourrait de même être réglée automatiquement au moyen d'un *manomètre électro-moteur* faisant fonctionner la machine du ventilateur quand il serait nécessaire d'envoyer de l'air dans l'enveloppe.

Ces deux petits appareils faciliteraient beaucoup la conduite de l'aérostat soit en avertissant simplement l'aéronaute des manœuvres qu'il a à exécuter, soit en effectuant ces manœuvres automatiquement, ce qui est un peu plus compliqué, mais ne présente cependant aucune difficulté sérieuse d'exécution.

Enfin, si l'on désirait être averti lorsque la température des gaz atteindra la limite supérieure qui ne doit pas être dépassée, rien ne serait plus facile que de placer un *thermomètre-avertisseur* dans le haut du ballon porteur. — Les thermomètres avertisseurs à maxima et minima construits par MM. Richard frères pourraient très bien servir à cet usage ; il suffirait pour cela de supprimer l'un des contacts électriques. — Ces appareils se

composent d'un tube mince à parois cintrées et de section méplate. Ce tube contient de l'alcool qui, en se dilatant, fait varier la courbure du tube dont l'une des extrémités est fixe et l'autre mobile. Les mouvements que prend, par suite, ce tube, sous les différentes températures du milieu ambiant, sont transmises à une aiguille qui se déplace devant un cadran divisé par comparaison.

L'aiguille porte un contact en platine et le verre qui protège le cadran est pourvu de deux index qu'on place sur les divisions indiquant les températures minima et maxima auxquelles l'avertisseur doit fonctionner. Au moment où l'aiguille touche les contacts ménagés sur les index, le circuit d'une sonnerie, dont les fils aboutissent d'une part aux index et d'autre part au massif métallique qui comprend l'aiguille, se trouve fermé et la sonnerie se met aussitôt en activité.

Cet instrument est employé pour maintenir une température constante dans les étuves, chambres de chauffe, serres chaudes..., etc.

Procédé permettant d'obtenir automatiquement l'horizontalité de l'axe de la nacelle pendant la marche de l'aérostat. — Influence d'une surface horizontale placée à l'arrière. — Plans inclinés à double effet.

La parfaite horizontalité de l'axe de l'hélice et de l'axe longitudinal de l'aérostat étant une des conditions les plus importantes à réaliser, tant au point de vue de la bonne utilisation du travail qu'à celui de la stabilité de l'aérostat, nous allons indiquer comment il serait possible d'obtenir ce résultat en utilisant simplement les différentes positions prises par l'ancre de l'aérostat sous l'action de la pesanteur.

Si l'ancre se trouve suspendu librement en un point de

la nacelle (fig. 13), l'action de la pesanteur la maintiendra toujours dans une position verticale, quelle que soit son

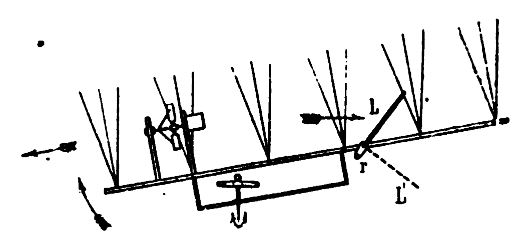


Fig. 13.

inclinaison par rapport à l'axe de la nacelle. Il en résulte que si l'on relie, au moyen de leviers convenablement disposés, l'écran L à l'une des extrémités du jas de l'ancre, on pourra faire prendre à cet écran la position r L lorsque l'avant de la nacelle aura besoin d'être relevée, et la position r L' dans le cas contraire.

En décomposant les forces qui agissent sur la nacelle, on voit en effet que la pression exercée par l'air sur l'écran r L détermine un couple qui tend à rétablir l'horizontalité toutes les fois que, pour une cause ou pour l'autre, la nacelle vient à prendre une certaine inclinaison.

C'est par un artifice de ce genre, croyons-nous, qu'on est arrivé à diriger convenablement les torpilles Withehead, dont le mode de construction était resté, jusqu'à ces derniers temps, à l'état d'énigme.

— A la rigueur l'écran pourrait être vertical et manœuvré à la main d'après les indications fournies par un niveau d'eau ou un fil à plomb.

— Dans ce qui précède nous avons supposé que le gouvernail horizontal était placé à l'arrière de la nacelle, mais rien ne s'oppose évidemment à ce qu'il soit placé à l'arrière de l'aérostat.

L'action automatique du gouvernail sera obtenue alors

au moyen d'un poids P suspendu à une certaine distance au-dessous de l'écran L. Cet écran, pour tourner librement autour d'un axe horizontal o, se trouve équilibré par une simple tringle en fer f.

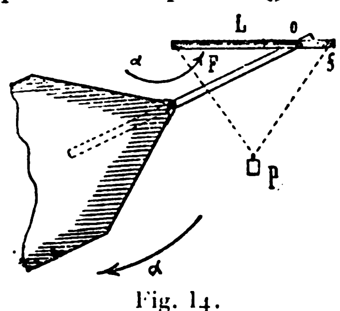


Fig. 14.

Les choses étant ainsi disposées, on voit que si l'aérostat vient à s'incliner vers l'avant, il s'exercera sur l'écran de la part de l'air une résistance normale F dont le mouvement par rapport au centre de gravité du navire aérien aura pour effet de faire tourner celui-ci dans le sens des flèches α et à relever par suite l'avant du ballon.

— L'action du gouvernail, ci-dessus décrit, sera d'autant plus efficace que la résistance de l'air tendra toujours à faire basculer l'écran, ce qui augmentera rapidement l'intensité du couple devant ramener l'horizontalité.

Quant au poids P il devra être calculé de façon à ce que l'écran ne puisse jamais basculer entièrement sous l'influence du vent lorsque l'aérostat atteindra son maximum de vitesse et que son inclinaison sera très prononcée.

L'action du gouvernail horizontal ne devra, d'ailleurs, se faire sentir que pendant le fonctionnement de l'hélice ; car, pendant les descentes, l'action de l'hélice se trouvant remplacée par celle du plan incliné formé par le dessous de l'aérostat, il sera préférable de maintenir l'écran dans une position sensiblement horizontale, de façon à ce que la pression de l'air sur cette surface tende à soulever l'arrière de la nacelle et à lui donner une certaine inclinaison dans le sens du mouvement. La forme en *queue d'oiseau* que nous avons donnée à l'arrière de



l'aérostat contribuera puissamment à assurer ce mouvement de bascule, mouvement qui, à la rigueur, suffirait seul à assurer la marche en avant du ballon, attendu que le *dos* de l'aérostat formera également un plan de glissement, moins efficace assurément que celui du *ventre*, mais suffisant néanmoins pour déterminer un mouvement de progression dans le sens horizontal.

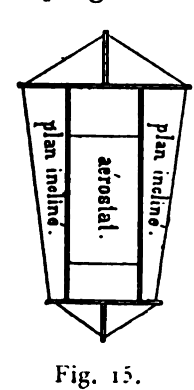


Fig. 15.

Le petit croquis ci-contre représente, en plan, la disposition générale qu'on pourrait peut-être donner à un aérostat construit en vue d'utiliser à la fois les mouvements de montée et de descente. Il suffirait, par exemple, de tendre une étoffe sur quatre longues perches en bambou, fixées sur les flancs et aux extrémités de l'enveloppe extérieure du ballon, et d'empêcher la flexion de ces tiges au moyen d'une *triangulation* convenable. Si, comme nous avons tout lieu de le croire, un pareil système de plans inclinés pouvait se construire facilement, il ne faudrait pas hésiter à l'adopter, car il permettrait d'utiliser d'une façon beaucoup plus *complète*, sous forme de travail, la chaleur que peut fournir la vapeur de la chaudière. C'est là un point extrêmement important, sur lequel nous ne saurions trop insister.

— Nous ferons remarquer, en terminant, que l'inclinaison plus ou moins grande du gouvernail *automatique* jouera en quelque sorte le rôle d'un niveau d'eau et indiquera immédiatement si la répartition des poids de la nacelle a été bien faite. Le maximum de vitesse de l'aérostat correspondant au cas où la position de l'écran est horizontale, il sera bon de distribuer les charges de façon à ce que cette condition soit réalisée pendant le fonctionnement de l'hélice.

Suppression de la nacelle des ballons-montgolfières.

Si l'on examine attentivement le tableau des résistances des différentes parties de l'aérostat de M. Dupuy de Lôme, tableau que nous avons reproduit au commencement de cette étude, on voit que la résistance du ballon proprement dit ne dépassait pas 8 ks 83, tandis que celle de la nacelle et des différents cordages atteignait le chiffre relativement très élevé de 7 ks 20. Il y a donc lieu de se demander s'il ne serait pas possible de placer la nacelle à l'intérieur même de l'aérostat, ainsi que l'avait proposé le baron Scott, il y a environ un siècle (1).

(1) Nous croyons devoir reproduire ici la description du *ballon planeur* de Scott que nous trouvons dans l'ouvrage de M. Tissandier sur la *Navigation aérienne* [librairie Hachette, 1886]. Ce projet d'aérostat est, en effet, extrêmement remarquable pour l'époque, et nous paraît devoir être placé au premier rang.

« Un officier distingué de notre armée, dit M. Tissandier, le baron « Scott, capitaine de dragons, exposa le principe des *ballons planeurs* « en 1789.

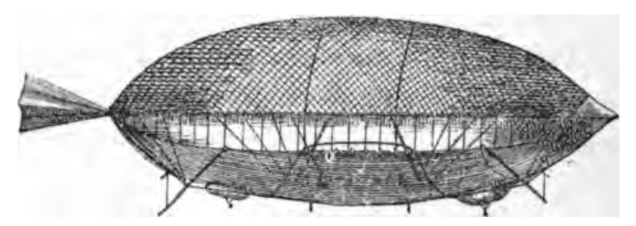


Fig. 16. — Projet de ballon-poisson de Scott (1789).

« Le baron Scott a donné une description très étendue, quoique sou-« vent bien confuse, de son aérostat dirigeable. Il insiste longuement sur « la nécessité d'abandonner la forme sphérique, et de recourir à une « forme allongée analogue à celle des poissons. Son navire aérien devait « être de très grande dimension, formé d'une double enveloppe d'une « grande solidité et muni de deux poches ou sortes de vessies natatoires « où l'on pourrait comprimer et décomprimer de l'air, pour faire monter « et descendre à volonté le système sans perdre de gaz et sans jeter de « lest d'après le principe du général Meusnier. Le baron Scott admet



Dans un aérostat de notre système la chose paraît assez facilement réalisable. Il suffirait, pensons-nous, de séparer l'air et le gaz par une simple cloison horizontale et d'attacher les bords de la nacelle au ventre de l'aérostat, c'est-à-dire à la partie inférieure de l'enveloppe qui contient l'air comprimé. Les aéronautes se trouveraient ainsi emprisonnés dans le ballon, et ne pourraient en sortir qu'en passant dans une sorte de *sas* à air ouvrant sur l'un des côtés de la nacelle.

Deux hélices de propulsion placées latéralement seraient actionnées par un moteur à air comprimé ou par une machine à vapeur dont l'échappement pourrait se faire à l'extérieur de l'aérostat ou dans le réservoir à gaz suivant qu'on désirerait augmenter ou diminuer la force ascensionnelle. Si l'on faisait usage d'une seule hélice, il faudrait la placer de préférence à l'arrière, afin d'éviter le refoulement de l'air sur l'avant de l'aérostat.

Un ventilateur d'une puissance suffisante permettrait de renouveler à volonté l'air de l'enveloppe, dont la pression serait réglée facilement en chargeant plus ou moins les soupapes d'évacuation.

La manœuvre du gouvernail se ferait au moyen de

« qu'en comprimant l'air dans la poche d'avant ou d'arrière, on peut incliner le navire aérien dans un sens ou dans l'autre, et lui donner ce « qu'il appelle la position *ascendante* ou *descendante* quand sa pointe « d'avant est dirigée vers le sol.

« La nacelle devait être suspendue dans une cavité spéciale réservée « à la partie inférieure de l'aérostat et cette nacelle pouvait être à volonté exposée à l'air libre, ou recouverte de toiles, qui l'enfermaient « en quelque sorte dans le corps même du ballon-poisson. Un gouvernail était disposé à l'arrière du navire, qui devait comprendre, en « outre, des rames de propulsion, pour accroître le mouvement de direction pendant la montée ou pendant la descente.

« Le baron Scott avait étudié son projet dès l'année 1788 ; il publia « son travail en 1789, à une époque où les grands événements de la Révolution française allaient détourner les esprits du problème de la direction des aérostats. Il se trouva dans l'impossibilité de donner suite « à ses études. »

deux cordes métalliques pouvant glisser à frottement dans des orifices percés dans deux petites plaques en métal fixées à l'enveloppe extérieure.

Un ballon dirigeable ne devant jamais atterrir qu'en cas de dégonflement ou de réparation urgente, il faudrait en outre que l'ancre pût être descendue et remontée facilement, sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir le sas à air.

Un certain nombre de petites fenètres fermant hermétiquement permettraient de voir ce qui se passe à l'extérieur et d'éclairer au besoin l'intérieur de l'aérostat si la transparence de l'étoffe était insuffisante. Pendant la nuit l'éclairage du ballon se ferait par l'électricité ou par la lampe des mineurs, si l'on craignait les fuites de gaz et les accidents pouvant résulter de la proximité du réservoir à hydrogène.

Quant à la forme qu'il conviendrait de donner à un pareil aérostat, nous pensons qu'elle devrait être légèrement aplatie sur les flancs, afin d'abaisser le centre de gravité, d'éloigner la nacelle du ballon porteur et de faciliter l'attache des plans inclinés dont l'emploi serait évidemment à recommander pour un ballon montgolfière construit sur ces données. — Les mouvements de montée et de descente pourraient être obtenus très simplement par l'allumage ou l'extinction d'un foyer placé dans la nacelle. Ce foyer serait alimenté par de l'alcool pur ou tout autre combustible pouvant brûler sans donner naissance à de la fumée ou à une mauvaise odeur capable d'incommoder les voyageurs.

— L'excellente utilisation de la chaleur du combustible employé pour le chauffage de l'air de l'enveloppe permettrait en outre d'augmenter beaucoup la durée des voyages aériens, si l'on se servait de plans inclinés, ou si



l'on se bornait simplement à maintenir l'aérostat dans des courants de direction convenable.

Si l'on voulait alimenter le foyer avec le gaz même du ballon, il faudrait lui donner une pression suffisante en le refoulant, par exemple, dans des petits réservoirs d'alimentation serrés contre les flancs de l'enveloppe au moyen d'un système de rubans en caoutchouc.

— Dans ce qui précède nous avons supposé que la nacelle et les voyageurs se trouvaient dans le réservoir d'air comprimé ; mais rien ne s'opposerait évidemment à ce que la nacelle fût suspendue au ballon par un procédé analogue à celui du baron Scott, c'est-à-dire en dehors du réservoir d'air comprimé. — Si l'on adoptait ce mode de construction il conviendrait très-probablement de ménager une cheminée verticale dans l'axe de l'aérostat, afin que les produits de la combustion du foyer de la chaudière pussent s'échapper librement au-dessus du ballon. — Cette cheminée serait garnie intérieurement d'une étoffe en amiante ou de feuilles métalliques très-minces. — Un certain nombre de cerceaux convenablement espacés empêcheraient que la cheminée ne s'aplatisse sous la pression de l'air comprimé contenu dans le ballon. L'emploi des machines à gaz et des machines à air chaud serait à étudier pour un aérostat construit sur ces données.

— Pour un aérostat à grande vitesse la valeur du coefficient K ne devrait pas dépasser le chiffre de 3 ou de 4 qui convient aux paquebots; et s'il est vrai, comme on l'a dit, que le coefficient de résistance des bateaux sous-marins est encore inférieur, il n'y aurait rien d'étonnant à ce qu'on arrivât, par la simple suppression de la nacelle, à réduire des $\frac{2}{3}$ le coefficient de résistance des ballons

de forme allongée, coefficient que nous avons trouvé être égal à 10 ou 11 pour les ballons de MM. Renard et Dupuy de Lôme.

Nous rappellerons, en terminant, que pour chaque vitesse il existe entre la longueur et la largeur d'un ballon un certain rapport pour lequel le coefficient de résistance devient minimum; de sorte qu'après avoir choisi le diamètre et la forme la plus convenable à donner à un aérostat, il conviendrait encore de déterminer sa longueur de manière à ce que le coefficient K soit minimum pour la vitesse normale que l'on désire obtenir. Quelques expériences préliminaires, faites sur des petits modèles de longueur variable, faciliteraient beaucoup le choix de ce rapport.

CHAPITRE VII

—

Calcul approximatif d'un ballon montgolfière de 8000 mètres cubes pouvant fournir pendant 2 heures une vitesse maxima de 36 kilomètres à l'heure, sans qu'il soit nécessaire de combiner l'action de l'hélice avec celle d'un plan incliné, c'est-à-dire en laissant perdre la vapeur d'échappement.

Afin de montrer plus clairement les avantages que présente notre système d'aérostat, nous supposerons que le volume du gaz renfermé dans le ballon porteur soit de 3554 m. c. comme dans le ballon de M. Dupuy de Lôme, et que l'altitude maxima à laquelle les aéronautes devront pouvoir s'élever *sans perte de gaz* soit d'environ 2000 m. au lieu de 866 mètres.

Pour calculer les dimensions d'un aérostat de forme allongée, la première chose à faire est évidemment de se donner le rapport entre la longueur et le diamètre principal du ballon.

Ce rapport était d'environ 2,3 pour le ballon de M. Dupuy de Lôme, de 3 pour celui de M. Tissandier, de 3,6 pour le ballon dirigeable construit par M. Giffard en 1852, et de 6 pour l'aérostat de Meudon.

Nous pensons qu'en fixant ce rapport à 3,5, comme pour les navires à voiles qui obéissent bien à l'action du gouvernail, on se trouva dans de bonnes conditions, tant au point de vue de la stabilité de l'appareil qu'à celui de la diminution de la résistance de l'air.

En appelant x le diamètre de la partie cylindrique,

2 x sa longueur, on aura, en supposant que la hauteur des deux cônes qui la terminent soit égale au $\frac{3}{4}$ du diamètre x, les deux équations suivantes : (1).

$$y = 3,5\ x$$

$$\frac{\pi x^3}{2} + \frac{\pi x^3}{6} = 8000$$

d'où l'on tire :

$$x = 15,63$$

$$y = 54,70$$

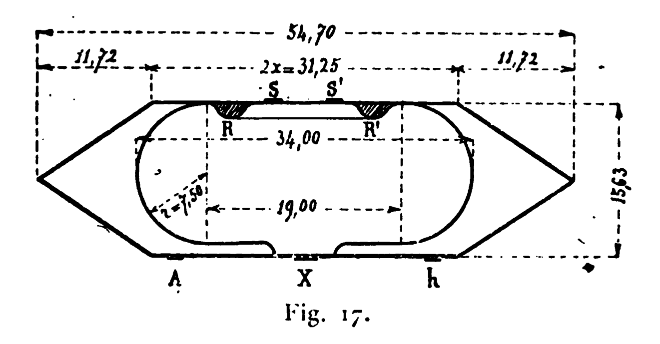


Fig. 17.

Le diamètre maximum d'un aérostat de 8000 m. c. construit sur ces données ne serait donc pas beaucoup plus grand que celui de la maîtresse section du ballon de M. Dupuy de Lôme qui avait 14 m. 84 de diamètre pour un volume moitié moindre.

Le volume de la partie cylindrique sera de 6000 m. c. et celui de chacun des deux cônes extrêmes de 1000 mètres cubes.

Quant au volume maximum qu'il conviendra de donner au ballon porteur, il est facile de le calculer approximativement en remarquant que sa capacité devra être suffisante pour permettre la dilatation des 3454 mètres cubes de gaz sous l'influence de la raréfaction de l'air et

(1) Pour simplifier un peu les calculs, nous avons supposé ici que l'aérostat était terminé par deux cônes de même dimension.



de l'excès de température que possédera le gaz, excès de température dont la valeur maxima aura lieu à l'altitude de 2000 m. et que nous supposerons ne pas devoir dépasser 30°.

La pression barométrique qui correspond à l'altitude de 2000 m. étant d'environ 600 m/m de mercure, il faudra, pour qu'il ne se produise pas de perte de gaz par la soupape automatique, que le gaz puisse se dilater librement à l'intérieur du ballon porteur dont la capacité devra, par suite, être au moins égale à :

$$\frac{3454 \times 760}{600} = 4375 \text{ mètres cubes.}$$

Le ballon porteur étant supposé avoir atteint l'altitude de 2000 m., il faudra en outre que son volume soit suffisant pour que la dilatation produite par un excès de température de 30° puisse également se faire, ce qui représente encore un accroissement de volume de :

$$4375 \times 0{,}00367 \times 30 = 482 \text{ mètres cubes,}$$

correspondant à une *force ascensionnelle variable* de 495 ks.

Le ballon porteur devra donc avoir une capacité d'au moins 4857 mètres cubes pour satisfaire aux conditions que nous nous sommes imposées.

Enfin, si l'on plaçait à la partie supérieure du ballon porteur le réservoir d'air ou d'oxygène destiné à l'alimentation du brûleur on arriverait à un total de 4907 mètres cubes en donnant à ce réservoir une capacité de 50 mètres cubes.

Ces 50 mètres cubes, supposés à la pression de 760 m/m et à la température de 0°, suffiraient à la combustion d'environ 100 m. c. de gaz hydrogène et pourraient fournir environ 83 kilogrammes d'eau.

— Pour ce qui concerne la forme à donner au ballon-porteur, nous pensons qu'elle devra se rapprocher autant que possible de celle d'un cylindre terminé par deux demi-sphères d'environ 15 m. de diamètre.

La longueur totale de ce ballon sera donnée par la relation :

$$\pi \times 7{,}5^2 \times [l - 15] + \frac{\pi \times 15^3}{6} = 4907,$$

d'où l'on tire l = 33,92 soit 34 mètres.

Pour avoir la force ascensionnelle totale de l'aérostat à l'altitude de 2000 m., il faudra évidemment ajouter à la force ascensionnelle du gaz proprement dit, celle que produira l'échauffement de l'air qui s'y trouve encore renfermé.

Le volume de cet air étant de 3143 m. c., la force ascensionnelle supplémentaire qui répondrait à un excès de température de 20° seulement serait de :

$$3143 \times 0{,}00367 \times 20 \times 1{,}3 \times \frac{600}{760} = 237 \text{ kg.}$$

La force ascensionnelle des 3454 m. c. de gaz hydrogène qui remplissaient le ballon de M. Dupuy de Lôme ayant été trouvée égale à 3800 ks au moment de l'ascension, nous aurons donc à notre disposition une force ascensionnelle totale de 4532 ks dont 3800 ks pour la *force ascensionnelle fixe* et 732 ks pour la *force ascensionnelle variable* produite par l'échauffement du gaz et de l'air comprimé.

Si nous recherchions quelle serait, au ras du sol, la force ascensionnelle variable produite par les mêmes excès de température [20° et 30°], nous trouverions une force ascensionnelle beaucoup plus grande, de sorte qu'il ne serait pas nécessaire d'élever beaucoup la température des gaz du ballon au moment du départ.

En supposant que les excès de température donnés à



l'air de l'enveloppe et au gaz du ballon porteur soient les mêmes, il suffirait, en effet, d'élever la température moyenne des gaz de :

$$\frac{732}{8000{,}000\,367 \times 1{,}3} = 19^{\circ}{,}18$$

pour produire une force ascensionnelle variable de 732 ks.

Quant à la force ascensionnelle maxima qu'il serait possible d'obtenir au départ par l'échauffement des gaz, elle correspondrait évidemment à un excès de température suffisant pour gonfler complètement le ballon porteur supposé au ras du sol, c'est-à-dire à :

$$\frac{4857 - 3454}{3454 \times 0{,}00367} = 111^{\circ},$$

et ne pourrait, par conséquent, être obtenue qu'en allumant le brûleur placé au milieu du ballon porteur.

En supposant que l'air de l'enveloppe soit porté à la même température, la force ascensionnelle variable produite par la diminution du poids spécifique des gaz du ballon serait alors de :

$$8000 \times 0{,}00367 \times 111 \times 1{,}3 = 4237 \text{ kg.}$$

et la force ascensionnelle totale de 8037 ks !

Bien que nous ne pensions pas qu'il soit possible d'obtenir pratiquement une température aussi élevée à l'intérieur d'un ballon à parois non métalliques, nous avons cru utile de donner ces quelques chiffres, afin de bien montrer que l'échauffement plus ou moins grand des gaz du ballon est une ressource extrêmement précieuse permettant de faire varier dans des limites très étendues la force ascensionnelle des aérostats.

Lorsqu'il sera fait usage de notre système de plans inclinés, il faudra s'attacher à augmenter le plus possible la force ascensionnelle variable, afin d'obtenir de *brusques*

variations de force ascensionnelle, et porter par exemple de 30° à 60° l'excès de température des gaz du ballon.

Nous ferons remarquer à ce sujet que lorsque le ballon aura atteint une altitude élevée, la température de l'air ambiant sera beaucoup plus basse qu'au moment du départ, de sorte que la température des gaz, comptée à partir de 0°, n'atteindra jamais une valeur dangereuse pour la conservation du vernis qui recouvre l'étoffe du ballon porteur.

Quant à la température moyenne qu'on pourra donner sans danger au gaz du ballon porteur, l'expérience seule permettrait de l'évaluer, attendu que la répartition de cette température sera très inégale, par suite de la tendance que les gaz chauds auront à se réunir vers le sommet de l'aérostat (thermomètre avertisseur).

— Nous croyons inutile d'entrer dans de plus longues considérations à ce sujet, et nous allons passer, sans plus tarder, à la recherche de la quantité de vapeur qu'il faudrait dépenser à l'heure pour imprimer à notre aérostat, supposé à l'altitude de 2000 mètres, une vitesse propre de 10 m. par seconde, en se servant uniquement de la traction produite par une hélice placée à l'avant de la nacelle.

En faisant $K = 7$, la formule $Tu = d\,K\,B^2\,V^3$ que nous avons établie au commencement de cette étude, donnera pour le travail de traction développé par l'hélice :

$$\frac{0{,}0013 \times 600}{760} \times 7 \times 192 \times 10^3 = 1380 \text{ kilogrammètres.}$$

soit environ 18,39 chevaux.

En admettant que notre machine à *enveloppe de vapeur humide* ne dépense pas plus de 12 ks de vapeur par cheval et par heure, ce qui est très admissible, il faudrait donc dépenser, en tenant compte du rendement de l'hélice :

$$18{,}39 \times 12 \times 1{,}5 = 330 \text{ kilogrammes.}$$

de vapeur à l'heure, et employer, par conséquent, une machine d'environ 28 chevaux.

Le poids d'une chaudière de notre système, munie de tous ses accessoires et capable de fournir cette quantité de vapeur, serait donc d'environ $330 \times 1,5 = 505$ ks, soit en chiffres ronds 500 kilogrammes, ou 700 ks en ajoutant au poids de la chaudière celui de l'eau non utilisable (1).

Le poids total de vapeur dépensé en 2 heures de marche étant de 660 ks, c'est-à-dire inférieur de 72 ks au poids qui représente la force ascensionnelle variable de notre aérostat, on voit que l'augmentation de force ascensionnelle produite par la *vaporisation de l'eau de la chaudière pourrait très bien être compensée par le simple refroidissement des gaz du ballon.*

Le poids de pétrole qu'il faudrait brûler pour vaporiser 660 ks d'eau en 2 heures de temps serait égal à environ 66 ks, en supposant qu'un kilogramme de ce combustible puisse produire 10 ks de vapeur. Mais, comme notre chaudière peut également être chauffée avec une partie du gaz de l'aérostat, nous pouvons admettre que l'aéronaute ne consommera que 30 ks de pétrole et $36 \times 4 = 144$ mètres cubes de gaz (2), afin qu'au moment de l'atterrissage il soit encore possible d'obtenir, par le simple *refroidissement* des gaz du ballon, une force descensionnelle suffisante.

(1) La chaudière de M. Giffard ne pesait guère que 2 ks par kilogramme de vapeur produite, bien que la force de sa machine ne fût que de 3 chevaux, c'est-à-dire 10 fois moindre. — Le chiffre de 1 k. 5 que nous avons adopté pour notre chaudière est donc parfaitement réalisable, surtout avec le chauffage au gaz ou au pétrole.

(1) On peut admettre, en chiffres ronds, que la quantité de chaleur produite par la combustion de 1 kil. de pétrole équivaut à celle que peut fournir la combustion de 4 mètres cubes d'hydrogène ou de 2 mètres cubes de gaz d'éclairage, supposés à la pression de 760 m/m.

La plus grande valeur de la force descensionnelle ainsi produite serait de : 72 — 30 + 144 × 1,1 = 200 ks.

Si l'on voulait avoir une force descensionnelle plus élevée, pour faciliter par exemple l'atterrissage, il faudrait brûler plus de gaz ou augmenter la force ascensionnelle variable de l'aérostat en donnant au gaz qu'il renferme un plus grand excès de température sur l'air ambiant ; mais nous pensons que la chose n'est pas indispensable dans le cas actuel, attendu qu'en dehors du refroidissement partiel des gaz, on peut encore utiliser la *compression* produite par le ventilateur pour augmenter la force descensionnelle de l'aérostat, laquelle augmentera d'ailleurs très rapidement en raison de la température élevée que possèdent généralement les couches d'air inférieures.

Si nous nous en rapportons au tableau n° 3 de l'intéressante Etude sur les aérostats à volume maximum *variable* qui a été publiée par M. le capitaine Renard dans *l'Aéronaute* de mai 1881, nous voyons en effet que l'alourdissement éprouvé par un ballon de 2145 m. c. descendant d'une hauteur de 2000 mètres est égal à environ 100 ks pour un écart maximum de température de 12° entre le gaz et l'air quand le ballon arrive à terre (1).

Pour un ballon de 8000 m. c. l'alourdissement correspondant serait donc de :

$$\frac{100 \times 8000}{2145} = 373 \text{ ks.}$$

D'un autre côté, une simple augmentation de pression

(1) *Tableau faisant connaître l'alourdissement d'un ballon de 2145 m. c. gonflé au gaz d'éclairage pendant qu'il descend de diverses hauteurs jusqu'à terre.*

On a pris comme base du calcul la loi de décroissance avec l'altitude formulée par M. Flammarion en la modifiant légèrement au moyen des observations de M. Glaisher.

de 50 m/m d'eau à l'intérieur de l'enveloppe du ballon correspondrait à une perte de force ascensionnelle de :

$$\frac{8000 \times 1,3 \times 0,05}{10,333} = 49 \text{ ks. } 18 \text{ [système de Meusnier].}$$

soit 50 ks ; de sorte que la force descensionnelle totale qu'on pourrait obtenir théoriquement en descendant d'une altitude de 2000 mètres serait de :

$$200 + 373 + 50 = 623 \text{ ks,}$$

ce qui permettrait d'atterrir dans de très bonnes conditions, ainsi que nous le verrons tout à l'heure.

Le volume de notre aérostat restant invariable quelle que soit l'altitude à laquelle il se trouve, il est bon de remarquer que pour un même travail développé par l'hélice, la vitesse de 10 m. obtenue à l'altitude de 2000 mètres diminuera sensiblement à mesure que l'aérostat

TABLEAU N° 3.

Pression en centièmes d'atmosphère	Altitude	Écart maximum de température entre le gaz et l'air quand le ballon arrive à terre.	Alourdissement qui en résulte.	Lest à garder pour les manœuvres d'atterrissage	Réserve totale de lest suivant les hauteurs.
			k.	k.	En nombres ronds.
95	409 m.	2°75	26,8	25	52 k.
90	841	5°10	47,0	»	72
85	1298	8°25	71,7	»	97
80	1782	10°20	83,7	»	109
75	2297	13°75	105,5	»	130
70	2849	16°50	118,2	»	143
65	3441	19°25	128,0	»	153
60	4081	22°00	135,5	»	160

Les chiffres de la dernière colonne sont à la vérité des maxima quand le temps est clair ; mais s'il arrive que les couches inférieures de l'air soient chargées d'humidité, l'alourdissement que nous indiquons devra être, au contraire, considéré comme un minimum, puisque le ballon se chargera d'eau en traversant ces couches.

S'il pleut sous les régions inférieures, il sera prudent de garder au moins $\frac{1}{3}$ en sus des quantités de lest indiquées dans la dernière colonne de notre tableau [*Aéronaute* de mai 1881].

se rapprochera du sol, par suite de la densité plus grande des couches d'air ; à 1000 mètres cette vitesse ne serait plus que de 9 m. 60, et elle descendrait à 9 m. 24 à quelques mètres au-dessus du niveau du sol.

Avant de décomposer la force ascensionnelle de notre aérostat, nous croyons utile de donner ici les dimensions principales du ballon de M. Dupuy de Lôme, ainsi que le détail des poids auxquels la force ascensionnelle de ce ballon faisait équilibre, afin que le lecteur puisse, par une simple comparaison de chiffres, se rendre compte de la possibilité de construire un ballon-montgolfière réalisant les conditions que nous nous sommes imposées.

Adoptant l'enduit dont l'emploi lui avait été conseillé par M. Troost, M. Dupuy de Lôme a calculé de la manière suivante le poids de son ballon.

POIDS DU BALLON PROPREMENT DIT

Surface géométrique du grand ballon.......	1225 m²
Surface additionnelle pour 3452 m. de joints.	280 m²
Total de la surface de l'étoffe préparée au caoutchouc, addition faite des joints et bandes de joints...............	1505 m²
Poids de l'étoffe sans enduit par mètre carré.	240 gr.
Poids du ballon avant l'enduit...........	361 ks 200
Enduit Troost à raison de 100 grammes par mètre carré sur 1225 mètres carrés géométriques...........................	122 ks 500
Poids du grand ballon enduit....	483 ks 700



La surface géométrique de l'enveloppe du ballonnet était de.............	170 m²	
La surface additionnelle pour joints	30 m²	
Total de la surface, addition faite des joints	200 m²	
Poids de l'étoffe du ballonnet à 240 gr. par mètre carré...........................		48 ks
Enduit Troost sur 170 m²...............		17 ks
Poids de l'étoffe du ballonnet avec enduit..............................		65 ks
Poids total du grand ballon et du ballonnet avec enduit...........................		548 ks 700
Poids des soupapes et des tuyaux en étoffe pour pendentifs et pour soufflerie........		22 ks
Poids total du ballon porteur avec ballonnet, pendentifs et soupapes.......		570 ks 700

Les autres poids entrant dans la composition de l'aérostat ayant été pesés directement, le devis de ces poids avait été établi ainsi qu'il suit :

COMPOSITION DES POIDS DE L'AÉROSTAT DE M. DUPUY DE LÔME SUPPOSÉ EN ÉQUILIBRE AVEC SA FORCE ASCENSIONNELLE AU NIVEAU DU SOL.

	ks
Etoffe du ballon, soupapes et pendentifs.....	570,70
Chemise et filet..........................	180,00
Divers cordages de gonflement restant accolés aux suspentes de la nacelle...............	60,00
Gouvernail, poulies de drosse, drosses.......	14,00
Nacelle avec brancards, traverses, épontilles, bancs d'osier, cabillots, toiles extérieures des bouts................................	585,00
A reporter..................	1409,70

Report	1409,70
Hélice amovible avec son moyeu et ses tirants	75,00
Treuil, arbre creux de l'hélice, coussinets....	78,90
Ventilateur et sa base en bois...............	49,50
Ancre....................................	30,00
Cable pour l'ancre........................	40,00
Guide rope................................	40,00
Cordages pour attirer la nacelle à terre.......	30,00
14 hommes d'équipage.....................	1050,00
Bagages et vivres à 7 ks par homme.........	98,00
Instruments d'observation et cartes..........	23,00
Colis à porter à destination.................	275,00
Lest disponible pour monter à la hauteur voulue et pour compenser pendant le voyage les pertes de gaz, les alourdissements de l'aérostat par la pluie, la neige, etc...........	600,00
Total de la force ascensionnelle du grand ballon plein d'hydrogène au ras du sol.....	3799,10

Le tableau suivant indique les dimensions principales du ballon de M. Dupuy de Lôme :

Longueur totale de pointe à pointe.........	$36^{m.}$ 12
Diamètre au fort de la circonférence composée de 84 bandes de 0^{m} 555 de largeur, non compris les recouvrements..............	14, 84
Rayon correspondant du méridien.........	25, 78
Volume du ballon.......................	$3454^{m.c.}$ 00
Volume du ballonnet à air................	$345^{m.c.}$ 40
Force ascensionnelle par mètre cube d'hydrogène [fabriqué ad hoc] à la pression de 760 m/m..............................	1100 gr.



Force ascensionnelle de l'aérostat { ballonnet affaissé	3799	ks.
Force ascensionnelle de l'aérostat { ballonnet gonflé.	3419	ks.
Surface du ballon porteur................	1225^{m2}	
Surface de l'enveloppe intérieure du ballonnet..............................	170^{m2}	00
Surface de la maîtresse section du ballon gonflé..............................	172^{m2}	96
Distance du plat-bord de la nacelle en contre-bas du grand axe longitudinal du ballon..	20^{m}	50
Hauteur de la nacelle du plat-bord au-dessous des grilles......................	1,	20
Hauteur totale de l'aérostat du dessus du ballon au -dessous des quilles de la nacelle..............................	29,	12
Longueur de la partie de la nacelle en osier	6,	50
Longueur totale de pointe en pointe des brancards en bambous...	12,	
Largeur de la nacelle au fort en dehors de ses plats bords......................	3,	26
Distance à laquelle se trouve, en contre-bas du grand axe horizontal du ballon, l'axe de l'hélice et du treuil moteur portés directement par la nacelle................	20,	45
Diamètre de l'hélice....................	9,	00

Nombre d'ailes 2.— Pas de l'hélice 8 m.

Fraction de pas de chaque aile { au bout 1/16 ; au centre d'action 1/10

Nombre de tours de l'hélice par minute pour une vitesse de 8 kilomètres à l'heure par rapport à l'air ambiant.................	21 tours	
Diamètre du ventilateur destiné à gonfler le ballonnet durant le voyage, mesure prise en dehors des ailettes.................	0$^{m.}$	65

Diamètre du cercle d'entrée d'air..........		o, 30
Largeur des ailettes	à l'attaque de l'air....	o, 28
	à la sortie...........	o, 10
Nombre de tours normal à la manivelle par minute...............................	20	
Nombre de tours correspondant des ailettes par minute..........................	500	

Pression de l'air à cette allure dans le tuyau de refoulement 4 c. d'eau.

Un homme suffit à cette allure pour remplir le ballonnet en 15 minutes.

L'étoffe du ballon de M. Dupuy de Lôme se composait d'un taffetas de soie blanche pesant 52 gr. le mètre carré, d'un nansouk pesant 40 gr. le mètre carré et de sept couches de caoutchouc interposé entre le taffetas et le nansouk. Les sept couches de caoutchouc pesaient ensemble 148 gr. le mètre carré, ce qui portait à 340 gr. par mètre carré le poids total de l'étoffe en y comprenant l'enduit Troost qui, à lui seul, ne pesait pas moins de 100 gr. par mètre carré.

La traction à laquelle cette étoffe pouvait résister avant la rupture ou la désagrégation des coutures était de 1050 ks par mètre de longueur et sa résistance était environ 11 fois plus grande que l'effort maximum qu'elle pouvait avoir à supporter [voir le Mémoire de M. Dupuy de Lôme].

Dans le ballon captif de 36 m. de diamètre construit en 1878 par M. Henri Giffard le poids total de l'étoffe était d'environ 4500 ks pour une surface de 4071^{m^2}, de sorte que le poids du mètre carré ressortait à environ 1 k. 106 au lieu de 340 gr. ; mais cette étoffe, dont l'imperméabilité était d'ailleurs complète, avait à résister à



une pression et à des efforts beaucoup plus grands, en raison de l'énorme volume de l'aérostat; sa résistance était telle, qu'un morceau de cinq centimètres de longueur pouvait supporter un poids de 200 ks, soit 4000 ks par mètre carré (1).

(1) Nous croyons intéressant de reproduire ici les chiffres suivants donnés par M. Gabriel Yon, chiffres que nous trouvons dans le livre de M. de Graffigny.

« Les étoffes qui se prêtent le mieux à la construction d'un ballon, « dit M. Yon, sont de quatre genres, et on peut les classer comme suit, « suivant leurs prix, poids et résistance.

« 1°. — La soie ou taffetas coûte 10 francs par mètre carré de surface « d'étoffe, son coefficient de résistance est égal à 20,000 fois son propre « poids qui est d'environ 50 grammes par mètre carré, ou 50 gr. « × 20,000 = 1000 ks à la rupture par mètre;

« 2°. — Le ponghée ou soie de Chine, revient à 3 fr. 50 par m. q., il « pèse environ 80 gr. et supporte 12,500 fois son poids;

« 3°. — La toile de lin coûte 2 fr. 50 le m. q., elle pèse environ 125 « gr. et son coefficient de rupture est de 8000 fois son poids propre;

« 4° Le coton ou madapolam s'achète de 1 franc à 1 fr. 25 le m. q., « il pèse environ 167 gr. et résiste à 6000 fois son propre poids.

« Il est facile avec ce qui précède de se rendre compte des différences « de poids qu'il faut compter pour le matériel, si l'on veut rester dans la « résistance initiale de 1000 kilogrammes à la rupture par mètre carré « d'étoffe, que je conseille pour un aérostat de 1200 mètres cubes.

« Comme il existe toujours une différence dans la force des tissus, « entre le sens de la chaine et celui de la trame, il faut avoir soin de « prendre comme rapport le plus faible des deux.

« Nous allons continuer cette étude par celle du vernis que l'on em- « ploie pour imperméabiliser les étoffes quelles qu'elles soient et déter- « miner les poids additionnels qu'il communique aux tissus pendant le « vernissage du ballon.

« Son prix courant est d'environ 2 francs le kilogramme. La soie pe- « sant 50 gr. par m. q. prend comme vernis pour trois couches (environ) « 1 fois à 1 fois 1/2 son poids au maximum. Soit 50 × 15 = 75 gr. « d'huile cuite et 50 + 75 = 125 grammes pour le poids total du m. q. « d'étoffe vernie.

« Le ponghée pesant 80 gr. par m. q. prend également en vernis à « trois couches (environ) 1 fois à 1 fois 1/2 son poids. Soit 80 × 15 « = 120 gr. d'huile cuite et 80 + 120 = 200 grammes pour le poids « total du mètre carré d'étoffe vernie.

« La toile pesant 125 gr. par m. q. n'augmente de densité avec ses « trois couches que d'environ 1 fois à 1 fois 1/2 son poids. Soit 125 ×

Dans notre système de ballon-montgolfière, l'étoffe du *ballon porteur* devra, évidemment, être rendue aussi imperméable que possible ; mais il ne sera pas nécessaire de lui donner une très grande résistance, car l'effort auquel cette étoffe aura à résister est complètement indépendant de la pression plus ou moins grande donnée à l'air de l'enveloppe.

Nous supposerons donc que le poids moyen de l'étoffe soit de 300 gr. pour le ballon porteur et de 200 gr. pour l'enveloppe dont l'imperméabilité n'a pas besoin d'être aussi complète, mais qui doit pouvoir résister à une pression plus élevée dont nous avons fixé le maximum à 100 m/m d'eau, soit 100 ks par mètre carré (1).

Nous supposerons en outre que le poids par mètre carré de l'étoffe commune au ballon porteur et à son enveloppe soit égal à la somme des poids de leurs étoffes respectives, c'est-à-dire à 500 gr., afin de donner à cette étoffe une résistance et une imperméabilité suffisante pour que le gaz ne puisse pas la traverser sous l'influence de la pression de l'air de l'enveloppe augmentée

« 15 = 187 gr. d'huile cuite, et 125 + 187 = 312 grammes pour le « poids total du mètre carré d'étoffe vernie.

« Le tissu de coton pesant 167 gr. par m. q. n'augmente de densité « avec ses trois couches que de (environ) 1 fois 1/2 son poids. Soit « 167 × 15 = 250 gr. d'huile cuite, et 167 + 250 = 417 grammes « pour le poids total du mètre d'étoffe vernie. »

« Le poids respectif de chaque étoffe, vernie, sera donc de 125 « grammes pour la soie, 200 gr. pour le ponghée, 300 gr. pour la toile « de lin et 400 gr. pour le coton : percale ou cretonne, et par mètre « carré de surface.

(1) Pour simplifier les calculs nous négligerons le poids des cloisons transversales *m* destinées à empêcher les mouvements de tangage produits par les déplacements du gaz d'une extrémité à l'autre du ballon porteur. Le poids de ces cloisons ne dépasserait pas d'ailleurs 6 ks par cloison en employant un nansouk non verni pesant 30 grammes le mètre carré.



de celle que le gaz exerce de lui-même au sommet du ballon porteur, en raison de son faible poids spécifique.

Si la rigidité des parois de notre aérostat était obtenue au moyen d'un ballonnet à air, placé intérieurement, il faudrait porter au moins à 500 gr. le poids de l'étoffe extérieure du ballon, et il est probable que malgré cette surépaisseur les pertes de gaz seraient beaucoup plus grandes, car ces pertes sont évidemment proportionnelles à l'étendue des surfaces en contact avec l'air et le gaz.

C'est là un des principaux inconvénients de la disposition adoptée par M. Dupuy de Lôme, et nous ne saurions trop insister sur l'absolue nécessité qu'il y a à placer le réservoir d'air autour du ballon qui renferme le gaz toutes les fois qu'on voudra se réserver la faculté de faire varier la pression intérieure des gaz de l'aérostat.

Nous ferons remarquer, en outre, que la résistance de l'étoffe n'aura pas besoin d'être aussi grande vers la partie inférieure du ballon, ce qui permettrait de diminuer encore le poids moyen du mètre carré de l'étoffe employée.

La force ascensionnelle totale de notre aérostat étant de 4532 ks, dont 3800 ks pour la force ascensionnelle fixe et 732 ks pour la force ascensionnelle variable, nous pensons pouvoir la décomposer à peu près de la manière suivante :

Etoffe du ballon porteur et du réservoir d'air ou d'oxygène, 1700^{m2} à 300$^{gr.}$	510 ks
Enveloppe extérieure de l'aérostat, 2005^{m2} à 200$^{gr.}$	401
Joues de l'aérostat supportant la nacelle, environ 700^{m2} à 120$^{gr.}$	84
Bambous terminant les joues et suspentes en fil de fer.............................	50
A reporter....................	1045 ks

Report	1045 ks
Cordages pour le gonflement de l'aérostat...	60
Gouvernail, poulies de drosse, drosses......	15
Nacelle proprement dite...................	600
Hélice métallique en acier trempé..........	30
Machine de 28 chevaux [type Giffard avec enveloppe de vapeur] (1)..................	336
Ventilateur, avec sa base en bois...........	100
Ancre proprement dite....................	300
Câble pour l'ancre........................	44
Chaîne guide-rope........................	280
Cordages pour attirer la nacelle à terre.....	30
4 voyageurs à 70 ks......................	280
Instruments d'observations................	22
Chaudière................................	500
Eau non utilisable........................	200
Eau et combustible nécessaires à un voyage de 2 heures...........................	690
Total......................	4532 ks.

Nous avons vu tout à l'heure qu'à la fin du voyage, lorsque presque toute la provision d'eau et de combustible se trouve épuisée, il était encore possible d'obtenir

(1) La machine employée par M. Giffard ne pesait pas plus de 50 ks pour une force de 3 chevaux, soit 40 à 45 ks en retranchant le poids de l'hélice motrice [celle de M. Tissandier pesait 7 ks]. — Le poids de cette machine ressortant à environ 13 ks par force de cheval ; il nous est donc parfaitement permis de fixer le poids *d'une machine dix fois plus puissante* à 12 ks par force de cheval, même en admettant que le cylindre soit pourvu d'une enveloppe de vapeur. Ce poids peut même être regardé comme un maximum, car nous avons vu au commencement de cette étude que le poids d'un moteur Brotherhood à air comprimé n'atteignait pas $\frac{1}{2}$ kilogramme par force de cheval ; la marge que nous nous sommes donnée en prenant pour type la machine de Giffard est donc largement suffisante.



une force descensionnelle de 623 ks malgré le refroidissement presque complet des gaz de l'aérostat. Il s'ensuit qu'au moment de l'atterrissage les aéronautes pourront toujours produire, sans perte de gaz, une force descensionnelle suffisante pour que l'ancre et une partie de la chaîne guide-rope reposent entièrement sur le sol. Cette chaîne, dont nous n'avons pas craint de porter le poids à 280 ks, facilitera beaucoup l'atterrissage du ballon, ainsi que nous l'expliquerons dans un chapitre spécial consacré à l'étude de cette importante question.

CHAPITRE VIII.

—

Emploi d'une machine à vapeur à détente et à condensation.

L'emploi de notre système d'enveloppe avec circulation de vapeur humide convenant tout particulièrement aux machines à détente et à condensation, nous supposerons, dans ce qui va suivre, que la consommation de la machine puisse être abaissée à 8 ks de vapeur par cheval et par heure, soit 224 ks pour une machine de 28 chevaux (1).

Nous supposerons en outre, pour plus de simplicité, que le reste de la provision d'eau utilisable, c'est-à-dire 690 — 224 = 436 ks, soit emporté sous forme *de glace* et entièrement consacré à la condensation, avant d'être employé à l'alimentation de la chaudière.

Pour calculer le temps pendant lequel il serait possible de condenser complètement la vapeur d'échappement de la machine, il suffit de chercher le nombre de calories absorbées par la fusion de nos 436 ks de glace, de l'ajouter au nombre de calories qu'il faut fournir à l'eau de fusion pour élever, par exemple, sa température de 0° à 60° ; et de diviser le chiffre ainsi obtenu par le nombre de calories dégagé par la condensation de 224 ks de vapeur, c'est-à-dire par environ :

(1) Les très bonnes machines à détente et à condensation employées dans l'industrie consomment environ 7 ks de vapeur par cheval et par heure.



$$224\,[650 - 50] = 132160 \text{ calories.}$$

Le nombre total des calories dont on pourrait disposer pour la condensation n'étant que de

$$436 \times 80 + 436 \times 60 = 61040$$

on voit que l'emploi d'une machine à vapeur, muni d'un condenseur ordinaire à injection, ne permettrait guère de prolonger de plus d'une $\frac{1}{2}$ heure la durée du voyage effectué par l'aérostat, soit 2 h. $\frac{1}{2}$ au lieu de 2 heures.

Cet exemple montre clairement qu'il n'y aurait pas grand intérêt à employer une machine à condensation pour un aérostat marchant *à grande vitesse*, le poids d'eau ou de glace qu'il serait possible de consacrer à la condensation étant beaucoup trop faible par rapport au poids de vapeur dépensé à l'heure par la machine.

Mais il en serait tout autrement si l'on réduisait la vitesse à 5 mètres par seconde, car alors le poids de vapeur dépensé à l'heure serait beaucoup moindre.

En admettant que la provision d'eau utilisable soit toujours de 660 ks, le travail développé sur l'arbre de l'hélice ne serait plus, en effet, que de :

$$T = \frac{1{,}5 \times 0.0013 \times 7 \times 19^2 \times 5^3}{75} = 4{,}37 \text{ chevaux}$$

au lieu de 28 chevaux, et la machine pourrait fonctionner sans condensation pendant :

$$\frac{660}{12 \times 4{,}37} = 12 \text{ h. } 60$$

au lieu de 2 heures.

Si nous supposons maintenant que la machine puisse

marcher avec condensation pendant les premières heures du voyage, le poids de vapeur dépensé à l'heure ne serait plus que de $4{,}37 \times 8 = 35$ ks, et il resterait environ 625 kilogrammes d'eau disponibles pour la condensation, en admettant que le poids de la chaudière et de l'eau non utilisable soit toujours de 700 ks (1).

Ces 625 kilogrammes d'eau employés sous forme *de glace* à 0° pourraient absorber 81,250 calories, et, comme la condensation de nos 35 ks de vapeur n'exigerait plus que 20,650 calories, on voit que le voyage pourrait être prolongé ainsi d'environ 4 heures, ce qui porterait sa durée totale à 16 h. 1/2.

Pour être exact, il conviendrait de tenir compte de l'augmentation du poids du combustible brûlé, mais cette correction est peu importante et ne changerait pas sensiblement les résultats que nous venons d'obtenir.

Aéro-condenseur. — Poids de la nacelle. — Durée maxima d'un voyage aérien. — Transformation progressive de l'aérostat en une simple montgolfière.

Si l'on voulait prolonger beaucoup le temps pendant lequel il serait possible de faire usage de la condensation, il faudrait, à notre avis, employer un condenseur à surface dont l'extrémité serait entourée d'un réservoir contenant de *la glace*, afin d'obtenir un vide suffisant, sans qu'il soit besoin de recourir à l'emploi d'un condenseur à injection pour condenser les dernières portions de la vapeur d'échappement.

(1) Pour une machine de 4 chevaux le poids de la chaudière et de l'eau non utilisable pourrait être réduit à environ 100 ks, ce qui permettrait de doubler le poids de l'eau utilisable et de faire fonctionner la machine sans condensation pendant plus de 24 heures.



[redacted]

Les figures théoriques 1 et 2 de la Pl. III montrent la disposition générale que l'on pourrait donner à une nacelle munie d'un aéro-condenseur construit sur ces données.

Ce condenseur serait formé par une multitude de petits tuyaux verticaux *a* dont l'une des extrémités serait soigneusement soudée à quatre gros tuyaux de section elliptique A_1 A_2 A_3 A_4, tandis que l'autre viendrait déboucher dans l'un des collecteurs C_1 C_2 C_3 C_4.

La vapeur d'échappement de la machine, amenée au condenseur par le tuyau E, pénétrerait dans le collecteur C_1 et suivrait le chemin indiqué par les flèches avant d'arriver dans les tubes *b* placés à l'arrière de la nacelle. Ces derniers tuyaux seraient entourés par de la glace pilée contenue dans une bâche G, en métal ou en bois, revêtue d'une certaine épaisseur de feutre, de molleton de laine, ou de tout autre matière peu conductrice de la chaleur.

Deux cloisons H placées dans les tuyaux A_1 et A_3 forceraient la vapeur à changer plusieurs fois de direction et à se répandre uniformément dans les tubes verticaux du condenseur.

L'eau de condensation serait recueillie par les tuyaux C_1 C_2 C_3 auxquels il conviendrait de donner une assez forte inclinaison du côté du tuyau d'arrivée de vapeur, de façon à amener cette eau dans quatre petits réservoirs R_1 R_2 R_3 R_4 munis chacun d'un raccord et de deux robinets permettant de les enlever et de les remettre facilement en place, sans que l'air atmosphérique puisse rentrer dans les tubes du condenseur.

L'eau de condensation ainsi recueillie servirait de nouveau à l'alimentation de la chaudière, de sorte que l'allégement de l'aérostat se réduirait théoriquement au poids du combustible brûlé pendant le voyage.

AÉR

Co

E

C_1

M

R_1

R_2

A_1

E

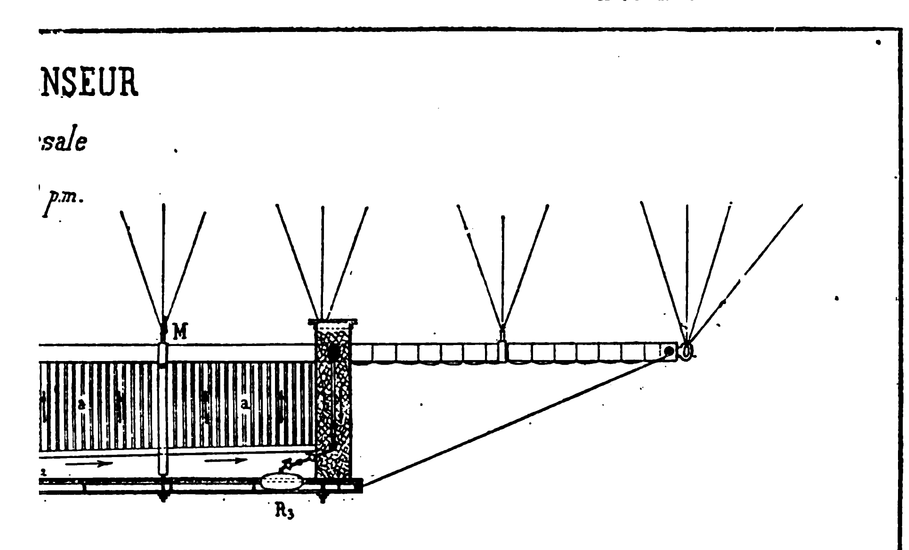
R_1

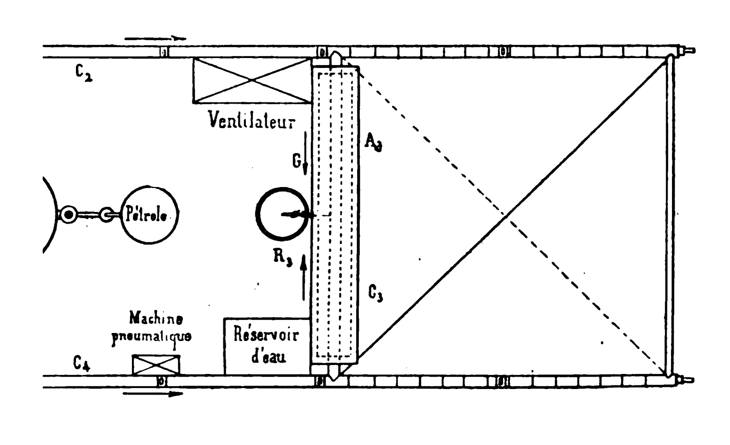
C_1

R_4



[redacted]


NSEUR
sale
p.m.
M
a
a
R3


C2
Ventilateur
A3
G
Pétrole
R3
C3
Machine pneumatique
Réservoir d'eau
C4

Quant à l'eau provenant de la fusion de la glace, elle pourrait être utilisée comme lest ou comme eau d'alimentation.

Le condenseur à surface, ci-dessus décrit, serait complété par une petite pompe à air ou par une machine pneumatique manœuvrée à la main, de façon à ce qu'on puisse faire le vide dans l'appareil au moment de la mise en marche et extraire de temps à autre l'air dégagé par l'ébullition de l'eau, ainsi que celui qui pourrait s'introduire par les joints des tuyaux, dans le cas où ces derniers ne seraient pas d'une étanchéité parfaite. La présence d'une trop grande quantité d'air dans les tuyaux serait en effet très nuisible au bon fonctionnement de l'appareil, en ce sens qu'elle diminuerait beaucoup le degré du vide, et la transmission de la chaleur à travers les parois du condenseur.

Pour simplifier le calcul de la surface qu'il faudrait donner aux tubes du condenseur, nous négligerons l'effet réfrigérant des tubes entourés de glace, tubes que nous supposerons uniquement destinés à augmenter le vide de l'appareil en condensant la vapeur qui aurait pu échapper à l'action réfrigérante de l'air.

La question étant beaucoup trop complexe pour que nous puissions faire intervenir ici tous les éléments qu'elle comporte, nous nous bornerons à donner quelques indications générales ayant simplement pour but de démontrer la possibilité d'appliquer les condenseurs à surface aux machines aérostatiques.

D'après Péclet, lorsque de la vapeur à 100° arrive dans un tuyau en *cuivre poli* placé dans une enceinte à la



température de 15°, il se condense environ 1 k. 05 de vapeur par mètre carré et par heure.

Dans les mêmes conditions, mais avec un tuyau en cuivre disposé horizontalement, M. Clément a trouvé que la quantité de vapeur condensée était de 1 k. 47 pour du cuivre nu, et 1 k. 70 pour du cuivre noirci. Pour un tuyau en cuivre noirci placé verticalement, le poids de la vapeur condensée était de 1,98 [voir Claudel].

Si l'air ambiant était agité, la condensation se ferait beaucoup plus facilement et l'on pourrait obtenir 2 ks. 50 et même 8 k. avec de l'air animé d'une vitesse de 8 mètres par seconde.

Comme on le voit, ces chiffres diffèrent beaucoup trop les uns des autres pour qu'il soit possible de prévoir exactement quel serait le poids de vapeur condensée ; mais nous pensons néanmoins qu'en donnant au condenseur une surface de un mètre carré par kilogramme de vapeur condensée, on se trouvera dans de bonnes conditions. Nous ne croyons pas prudent de descendre beaucoup au-dessous de ce chiffre, car la condensation ne se fera pas partout avec la même intensité par suite de l'*abaissement progressif de la température* de la vapeur affluente au fur et à mesure qu'elle chemine dans les tuyaux.

La température de la vapeur affluente que nous avons supposée de 100° dépendra d'ailleurs de l'étendue de la détente dans le cylindre moteur, de sorte que si la pression à fin de course était par exemple de $\frac{1}{2}$ atmosphère, la température de la vapeur d'échappement serait d'environ 82°, ce qui ne peut qu'augmenter la quantité de vapeur susceptible d'être condensée à une température donnée.

Nous ferons remarquer, en outre, que notre aéro-condenseur ne fonctionnera jamais que pendant un temps

relativement assez court, de sorte qu'il sera facile de l'entretenir dans un très grand état de propreté.

Les dépôts de matières grasses provenant du graissage du cylindre moteur seront toujours à redouter, mais nous pensons qu'il serait possible d'atténuer beaucoup leur mauvais effet en n'employant que des huiles minérales non saponifiables et exemptes de corps gras d'origine animale ou végétale.

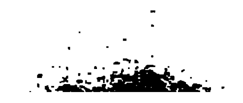
Ceci posé, nous allons chercher quel serait le poids approximatif d'un aéro-condenseur de 35 m. q. de surface, capable de condenser au moins 35 ks de vapeur à l'heure, de façon à nous rendre compte de la possibilité qu'il y aurait à établir un de ces appareils dans la nacelle d'un aérostat, sans qu'il en résulte une augmentation de poids par trop considérable. — Le mode de construction et les dimensions indiqués Pl. III permettent de calculer avec assez d'exactitude le poids d'une nacelle de 6 mètres de long sur 3 de large, munie d'un aéro-condenseur de notre système.

En supposant, ce qui est très admissible, que la totalité de la surface des deux brancards métalliques A_2 A_3 puisse être utilisée pour la condensation de la vapeur, nous aurons pour la surface des 4 tubes A_1 A_2 A_3 A_4, lesquels ont une section elliptique de 80 m/m de large sur 140 m/m de hauteur :

$$S = 0{,}352 \times 30 = 10 \text{ m}^2{,}65.$$

et le poids de ces tuyaux pour une épaisseur de 2 m/m serait d'environ :

$$P = \pi\,[0{,}040 + 0{,}070 - 0{,}038 \times 0{,}068] \times 30 \times 8950 = 182 \text{ kilogrammes.}$$



[redacted]

La surface des quatre autres tuyaux collecteurs C_1 C_2 C_3 C_4 dont la section circulaire possède un diamètre extérieur de 50 m/m et une épaisseur de 1 m/m, sera égale à :

$$\pi \times 0{,}050 \times 18 = 2 \text{ m}^2{,}83.$$

et leur poids à environ :

$$2\pi \times 0{,}0245 \times 18 \times 0{,}001 \times 8950 = 25 \text{ ks}.$$

Le reste de la surface du condenseur sera formée par les petits tubes verticaux *a* auxquels nous supposerons un diamètre de 20 m/m et une épaisseur de 1/2 millimètre.

La longueur totale qu'il faudra donner à ces tubes pour obtenir une surface complémentaire de 21 m. 51 sera donnée par la relation :

$$l = \frac{21{,}51}{\pi \times 0{,}02} = 334 \text{ m}^2{,}50.$$

et le poids de ces tuyaux sera d'environ 93 ks ; ce qui porte à 300 ks le poids total du condenseur dont les tuyaux verticaux, au nombre de 418, seront espacés de 43 m/m, en supposant que chacun d'eux ait une hauteur moyenne de 0^{m} 80.

La nacelle de notre aérostat de 8000 mètres cubes pesant 600 kilos, il resterait encore 300 kilos pour le fond de la nacelle ; de sorte qu'il ne serait probablement pas nécessaire d'augmenter le poids consacré à la nacelle, si l'on conservait le mode de construction adopté par M. Dupuy de Lôme au lieu de faire usage d'un plancher métallique.

Ce poids de 300 kilos est d'ailleurs pour nous un poids maximum qu'il serait possible de réduire, en diminuant l'épaisseur des tuyaux.

En remplaçant les tubes en cuivre par des tubes en aluminium dont la densité n'est que de 2,670 au lieu de

8,950, et en admettant qu'un mètre carré d'aluminium puisse condenser le même poids de vapeur qu'un mètre carré de cuivre, on pourrait réduire à moins de 100 kilos le poids du condenseur sans rien changer aux épaisseurs que nous avons adoptées dans nos calculs.

Malheureusement la métallurgie de l'aluminium, dont le prix est encore de 150 fr. le kilogramme, laisse encore beaucoup à désirer, et l'on n'est pas encore parvenu à le souder convenablement.

L'aluminium, tel qu'il est livré dans le commerce, est un métal mou, assez facilement attaquable par l'eau, contrairement à ce qu'on lit dans les traités de chimie, et qu'il faudrait par conséquent allier avec un métal qui lui donne les qualités requises pour les applications industrielles.

La surface de 1 mètre carré par kilogramme de vapeur condensée se rapporte au cas où l'air n'est pas agité ; mais, comme la condensation de la vapeur se fera surtout pendant la marche de l'aérostat, la vitesse de l'air autour des tubes du condenseur sera sensiblement égale à celle du ballon, de sorte que la puissance de notre condenseur augmentera pour ainsi dire proportionnellement à la vitesse de l'aérostat, et par suite au poids de vapeur dépensée, ce qui est une circonstance extrêmement favorable à l'application de notre système de condenseur à la navigation aérienne.

Il conviendrait en outre de tenir compte de l'abaissement de la température de l'air ambiant et de l'action réfrigérante des tubes entourés de glace, dont la surface peut être évaluée à 6 mètres carrés et qui suffiraient seuls à condenser toute la vapeur d'échappement, s'il n'y



avait pas un intérêt majeur à ménager la provision de glace.

Il résulte, en effet, des expériences qui ont été faites par MM. Thomas et Laurens, au moyen d'un tuyau de cuivre de petit diamètre, qu'un mètre carré de surface de tuyau peut condenser 400 kilos de vapeur par heure et pour une simple différence de température de 45° [voir Claudel] ; de sorte que si nous adoptions ce chiffre, nos 6 mètres carrés de condenseur ne liquéfieraient pas moins de 2400 kilos de vapeur à l'heure, c'est-à-dire plus de 68 fois ce qui est nécessaire !

Nous dirons toutefois que, dans la pratique, il ne faut guère songer à obtenir un pareil résultat, même avec de la glace, attendu que les condenseurs ordinaires s'encrassent assez rapidement et renferment toujours une certaine quantité d'air dont la présence tend à paralyser rapidement l'action refroidissante des condenseurs à surface qui, comme on le sait, sont généralement composés de tubes en laiton de 15 à 20 m/m de diamètre extérieur et de 3/4 m/m à 1 m/m d'épaisseur, maintenus à une basse température par l'effet d'un courant d'eau déterminé par une pompe spéciale, appelée pompe de circulation, qui prend l'eau au dehors et la fait passer à travers le condenseur.

Si nous nous en rapportons aux chiffres donnés dans les *Notes et Formules de l'Ingénieur*, publiées par M. Uhland, la surface qu'on donne généralement aux condenseurs à surface par kilogramme de vapeur condensée varie de 0 m. q. 03 à 0 m. q. 02, l'eau réfrigérante sortant à 40° et la condensation se faisant à environ 45°.

Ces chiffres correspondraient à une condensation moyenne de 40 kilos par mètre carré ; mais comme notre eau réfrigérante reste constamment à 0°, nous pourrions compter sur une condensation d'au moins 80 kilos, ce

qui porterait à 480 kilos la quantité de vapeur susceptible d'être condensée par les 6 m. q. de tubes entourés de glace.

La condensation se fera donc d'une façon complète pour une machine consommant seulement 35 kilos de vapeur à l'heure, et le degré du vide obtenu sera pour le moins égal à celui des meilleures machines munies d'un condenseur à injection.

Il est même probable que le condenseur représenté Pl. III suffirait à condenser toute la vapeur d'une machine de 28 chevaux tant que la provision de glace ne serait pas épuisée, et l'on pourrait marcher ainsi avec condensation pendant un temps beaucoup plus long que si l'on se bornait à faire usage d'un simple condenseur à injection alimenté avec de la glace, attendu qu'une grande partie de la vapeur d'échappement se condensera par la seule action réfrigérante de l'air.

Nous ferons remarquer, en terminant, que le travail résistant des pompes à air et des pompes de circulation se trouvant supprimé, le poids de vapeur dépensée par cheval et par heure sera sensiblement diminué.

Si nous recherchons maintenant quel serait le poids de la nacelle munie de son condenseur, nous aurons, en adoptant les dimensions indiquées sur nos dessins, les chiffres suivants :

Bâche G	70 ks.
4 Réservoirs R	20
Condenseur proprement dit	300
10 fers transversaux de 3 m. de longueur pesant 6 ks. le m. ct	180
A reporter	570



[redacted]

Report	570
2 fers longitudinaux de 6 m.,50 de longueur pesant 6 ks le m. ct	78
17 m² de plancher en sapin pesant environ 550 ks le m. c	112
Montants M en fers méplats, entretoises, cornières d'assemblage et divers	90
Total	850 ks.

Le poids total d'une nacelle métallique de 3 m. de large sur 6 m. de long serait donc d'environ 850 kilos, et la force ascensionnelle d'un aérostat de 800 mètres cubes, muni d'un aéro-condenseur et d'une machine de 5 chevaux capable de lui imprimer une vitesse moyenne de 5 mètres par seconde, pourrait se décomposer ainsi :

Etoffe du ballon porteur et du réservoir à oxygène	510 ks.
Enveloppe extérieure	401
Joues de l'aérostat	84
Bambous et suspentes en fil de fer	50
Cordages de gonflement	60
Gouvernail, poulies de drosse, drosses	15
Nacelle complète munie de son aéro-condenseur	850
Hélice métallique en acier trempé	25
Machine de 5 chevaux pesant environ 15 ks par cheval	75
Ventilateur et sa base en bois	100
Cordages pour attirer au besoin la nacelle à terre	30
4 voyageurs	280
Ancre proprement dite	300
A reporter	2780

Report	2780
Câble de l'ancre	44
Chaîne guide-rope	280
Treuil pour la manœuvre de l'ancre	100
Instruments d'observation	22
Chaudière de 10 chevaux pesant 2 ks par kilogr. de vapeur produite	140
Eau non utilisable contenue dans la chaudière	60
Eau utilisable contenue dans la chaudière et dans le condenseur	70
Glace destinée à compléter la condensation.	500
Pétrole à emporter pour un voyage d'environ 100 heures	350
Machine pneumatique, réservoirs d'eau et de pétrole, etc	186
Total	4532

Dans ce tableau nous n'avons pas tenu compte du poids de combustible qu'il faudrait brûler pour donner aux gaz de l'aérostat un certain excès de température sur l'air ambiant, car on pourra utiliser à cet effet la chaleur produite par la combustion d'une partie du gaz du ballon porteur, lequel devient entièrement disponible pour le chauffage au fur et à mesure que le combustible liquide se brûle dans le foyer de la chaudière.

En outre, la puissance de notre condenseur à surface étant assez grande pour condenser toute la vapeur d'échappement, le gaz faisant équilibre aux 500 ks d'eau provenant de la fusion de la glace pourrait fort bien servir au chauffage de la chaudière. Il suffirait pour cela d'employer cette eau en guise *de lest*, et d'alléger l'aérostat d'environ 1 k. pour chaque mètre cube d'hydrogène brûlé dans le foyer de la chaudière.

Comme nous avons vu précédemment qu'il fallait brû-

[redacted]

ler environ 4 mètres cubes d'hydrogène ou 2 mètres cubes de gaz d'éclairage pour obtenir la même quantité de vapeur qu'avec 1 k. de pétrole, l'artifice que nous venons d'indiquer permettrait de prolonger la durée du voyage d'environ $\frac{500}{4 \times 3{,}5} = 35$ heures, puisqu'il faut brûler 3 k. 5 de pétrole pour obtenir une force de 4,37 chevaux avec une machine à condensation consommant 8 ks de vapeur par cheval et par heure.

Notre aérostat marchant à la vitesse de 5 m. par seconde, la durée du voyage pourrait donc être aisément portée à 135 heures, soit 5 jours 1/2, en ne tenant pas compte de la quantité de combustible ou de gaz qu'il faudrait brûler pour entretenir constamment à l'intérieur du ballon l'excès de température qui correspond à une force ascensionnelle variable de 732 ks.

Bien que cette force ascensionnelle variable corresponde seulement à un excès moyen de température de 19 à 20°, et puisse être obtenue en partie par la combustion des 350 mètres cubes de gaz qui font équilibre au poids du pétrole consommé, nous pensons que dans le cas actuel, où l'action des plans inclinés n'est pas utilisée, il ne serait pas nécessaire de porter les gaz du ballon à une température aussi élevée, et qu'une force ascensionnelle variable de 200 ks suffirait amplement à tous les besoins. En tenant compte de l'alourdissement qui se produit tout naturellement lorsque l'aérostat tombe d'une hauteur de 2000 mètres et de l'augmentation de la densité des gaz obtenue par *une compression* de 50 m/m, nous avons vu, en effet, qu'une force ascensionnelle variable de 200 ks pouvait fournir une force descensionnelle totale de près de 623 ks, ce qui est plus que suffisant pour atterrir dans de bonnes conditions et sans perte de gaz.

Pour conserver à l'aérostat sa force ascensionnelle initiale, il suffirait d'introduire dans le ballon porteur un

volume de gaz hydrogène capable de produire une force ascensionnelle de :

$$3800 + 732 - 200 = 4332 \text{ kilogrammes}$$

au lieu de 3800 ks, ce qui n'augmenterait pas d'ailleurs sensiblement le volume occupé par le ballon porteur, attendu que si la quantité de gaz est plus grande, l'excès de température qui correspond à une force ascensionnelle variable de 200 ks est beaucoup plus faible, de sorte que la plus grande partie des 482 m. c. réservés pour la dilatation du gaz pourrait servir à loger la nouvelle quantité de gaz hydrogène indroduite dans le ballon porteur.

A l'altitude de 2000 m., il suffirait d'un excès moyen de température de 6°8 pour conserver à un aérostat de 8000 m. c., une force ascensionnelle variable de 200 ks ; et si l'on remarque que la température maxima des gaz sera toujours produite à l'intérieur du ballon porteur, qui se trouve presque complètement entouré par l'air de l'enveloppe, on voit que l'excès de la température des parois de l'enveloppe sur celle de l'air ambiant sera extrêmement faible, et que le nombre de calories perdues par transmission à travers les parois du ballon, pendant la durée du voyage, sera très inférieur à celui que pourrait fournir la combustion des 350 mètres cubes de gaz qui font équilibre au poids du combustible liquide.

Si l'on portait à 920 ks le poids de la provision de combustible, en remplaçant par du pétrole les 570 ks qui représentent le poids de la glace et celui de la bâche G, on pourrait marcher pendant $\frac{920}{3,5} = 263$ heures consécutives en brûlant uniquement du pétrole, et pen-

[redacted]

dant $\frac{920}{4 \times 3,5} = 66$ heures en brûlant le gaz qui lui fait équilibre ; ce qui permettrait de voyager pendant plus de 13 jours 1/2 avec une vitesse de 18 kilomètres à l'heure et de parcourir dans un air calme une distance de 5922 kilomètres, c'est-à-dire plus de la moitié du 1/4 du méridien terrestre, en supposant, bien entendu, que l'action réfrigérante de l'air soit suffisante pour condenser toute la vapeur d'échappement de la machine, qu'il n'y ait pas de déperdition de chaleur à travers les parois de l'enveloppe, et que l'étoffe du ballon ne laisse pas perdre de gaz.

Enfin, quelque hasardée que puisse paraître au premier abord cette assertion, nous dirons que rien ne s'opposerait à ce qu'on utilisât la *presque totalité* du gaz renfermé dans le ballon porteur pour le chauffage de la chaudière. Il suffirait pour cela de remplacer la force ascensionnelle du gaz brûlé par une *élévation de température correspondante*, de telle sorte qu'à la fin du voyage, l'aérostat se trouverait transformé en une simple montgolfière à air chaud ne renfermant plus qu'une très faible quantité de gaz.

En supposant que la provision de glace et de combustible fût complètement épuisée, la force ascensionnelle nécessaire ne serait plus, en effet, que de 3672 ks au lieu de 4532 ks, et l'on pourrait fort bien obtenir cette force ascensionnelle en élevant 8000 mètres cubes d'air à la température de :

$$x = \frac{3672}{8000 \times 0,00367 \times 1,3} = 96^{\circ},12.$$

celle de l'air ambiant étant supposée de 0°.

En faisant usage d'une ancre et d'une chaîne guiderope d'un poids minime, comme celles qui ont été employées par M. Dupuy de Lôme, on pourrait réduire en outre de 724 — 110 = 614 ks la force ascensionnelle de

l'aérostat, et la température maxima qu'il serait nécessaire de donner au gaz du ballon supposé au ras du sol ne serait plus alors que de :

$$x = \frac{3058}{8000 \times 0{,}00367 \times 1{,}3} = 80^{\circ},12.$$

ce qui n'a rien d'exagéré, et pourrait probablement être obtenu rien qu'avec des injections de vapeur.

Cette transformation progressive de notre aérostat en une simple montgolfière à air chaud permettrait donc de prolonger beaucoup la durée des voyages, sans qu'il soit nécessaire d'interrompre pour cela le fonctionnement de la machine motrice.

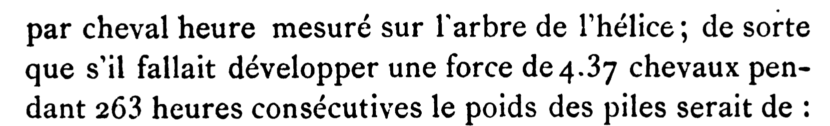
Nous avons cru utile d'entrer dans ces considérations, afin de montrer plus clairement l'intérêt qu'il y aurait à faire usage d'un ballon montgolfière à vapeur muni d'un aéro-condenseur, et de fixer en même temps les idées du lecteur sur la durée probable des voyages et la possibilité d'utiliser *la totalité du gaz* renfermé dans le ballon porteur.

Quant à la disposition de la nacelle et du condenseur, elle pourra évidemment varier à l'infini suivant les idées de chaque constructeur et les conditions particulières que devra remplir l'aérostat.

— L'emploi de l'électricité n'est donc nullement indispensable à la navigation aérienne, et nous serions assez curieux de voir comment les nombreux partisans des moteurs dynamo-électriques s'y prendraient pour imprimer, pendant 13 jours 1/2, une vitesse de 18 kilomètres à un aérostat de 8000 mètres cubes.

Nous avons montré, en effet, au commencement de cette étude, que le poids minimum de la pile employée par MM. Tissandier frères ne ressortait pas à moins de 126 ks





par cheval heure mesuré sur l'arbre de l'hélice; de sorte que s'il fallait développer une force de 4.37 chevaux pendant 263 heures consécutives le poids des piles serait de :

$$263 \times 4{,}37 \times 126 = 144{,}850 \text{ kilogrammes!}$$

Pour être exact, il faudrait, il est vrai, ne pas faire entrer dans les 126 ks le poids des auges à compartiments qui contiennent le liquide des piles, attendu que ce poids correspond à celui de notre chaudière et de l'eau non utilisable; mais, malgré cette correction, le poids d'un pareil générateur n'en serait pas moins effrayant.

Les accumulateurs électriques préconisés par plusieurs personnes, et que M. Tissandier avait d'abord songé à employer comme étant d'une manipulation moins difficile, donneraient un poids encore plus considérable.

Si nous nous en rapportons au traité d'Électricité Industrielle de MM. E. Cadrat et L. Dubost, qui vient de paraître tout récemment, nous voyons, en effet, que le poids d'un accumulateur Faure-Sellon-Volckmar, présenté comme l'un des meilleurs et *des plus légers*, ressort à 75 ks par cheval-heure, rien que pour le plomb, et à 135 ks, en tenant compte du poids du liquide et de la boîte qui le contient; de sorte que pour marcher dans les conditions ci-dessus indiquées, il faudrait emporter $263 \times 4{,}37 \times 75 = 86200$ kilos de plomb, soit $263 \times 4{,}37 \times 135 = 155150$ kilogrammes en ajoutant au poids du plomb celui de la boîte et du liquide nécessaire au fonctionnement de l'appareil.

En comparant ce poids aux 1307 ks qui représentent le poids de notre chaudière augmenté du poids de l'eau, de la glace, du combustible et des autres accessoires, on arrive à cette conclusion qu'un générateur électrique formé par des accumulateurs Faure-Sellon-Volkmar se-

rait environ $\frac{155,150}{1037}$ = 119 fois plus lourd qu'un simple générateur à vapeur, toutes choses étant égales d'ailleurs.

Ces chiffres montrent, une fois de plus, que lorsqu'il s'agit de navigation aérienne, l'important n'est pas de choisir une *machine motrice* plus ou moins légère, mais de la faire fonctionner le plus longtemps possible. A ce point de vue, le choix d'une machine dynamo-électrique est peut-être le plus mauvais qu'on puisse faire.



CHAPITRE IX

—

Atterrissage.

La possibilité de diriger convenablement un aérostat étant admise, le problème le plus important à résoudre consiste évidemment dans la recherche d'un moyen simple et pratique, permettant d'arrêter le navire aérien, quelle que soit la violence du vent, et sans qu'il en résulte le moindre danger pour les voyageurs et pour l'aérostat. Il faut, en outre, que les aéronautes puissent descendre à terre, et remonter ensuite dans les airs, aussi souvent que cela sera nécessaire pour le renouvellement de la provision d'eau et de combustible (1).

Nous n'examinerons ici que le cas le plus général, c'est-à-dire celui où l'atterrissage se fera avec l'ancre ou le grappin qui nous paraissent satisfaire à tous les besoins de la pratique, à la condition toutefois de leur donner l'importance qu'ils doivent avoir, et de prendre certaines précautions en vue d'empêcher le soulèvement de la verge de l'ancre sous l'action combinée du vent et de la force ascensionnelle de l'aérostat.

(1) S'il s'agissait simplement de conduire l'aérostat d'une station à l'autre, le problème serait beaucoup plus facile et pourrait être résolu, par exemple, au moyen d'une grille horizontale entre les dents de laquelle viendrait s'arrêter un rondin de bois fixé à l'extrémité du guide-rope. — Pour les ascensions exécutées dans le voisinage de la mer, il sera indispensable de munir l'aérostat du *cône-ancre* et du *frein aéronautique à clapet délesteur*.

Dans l'aérostat de M. Dupuy de Lôme, comme dans tous ceux qui ont été expérimentés jusqu'à ce jour, le poids de l'ancre (30 ks) est presque insignifiant comparé à la force ascensionnelle de l'aérostat et à l'effort que la pression du vent peut exercer à un moment donné sur la corde de l'ancre.

Pour obtenir d'une façon à peu près certaine la pénétration de l'ancre dans le sol, nous pensons qu'il ne faudrait pas craindre de décupler le poids de l'ancre employée par M. Dupuy de Lôme et de lui ajouter en outre une *chaîne guide-rope* extrêmement pesante, dont le rôle serait non seulement d'empêcher le soulèvement de la verge, mais encore de produire, par le seul fait de son repos sur le sol, une force ascensionnelle assez grande pour que l'aérostat demeure toujours à une certaine hauteur, et que la nacelle ne puisse jamais venir heurter le sol sous l'action du vent ou sous l'influence de la puissance vive acquise par l'aérostat au moment de la descente.

Le poids des voyageurs restant le même pendant toute la durée de l'ascension, il conviendrait de faire le poids de la chaîne guide-rope égal au poids des voyageurs, afin que lorsque ces derniers descendront à terre, la force ascensionnelle produite puisse être compensée par le soulèvement plus ou moins grand de la chaîne et non par celui de la verge de l'ancre qui devra toujours appuyer de tout son poids sur le sol. Rien ne s'opposerait d'ailleurs à ce que la nacelle fût lestée d'un poids équivalant à celui des voyageurs déposés à terre.

L'inconvénient de ce système d'atterrissage consiste évidemment dans la production d'une force descensionnelle qui soit au moins égale au poids de l'ancre, et dans



la rapidité avec laquelle cette force descensionnelle devra être obtenue, au moment même de la descente, sans qu'il en résulte nécessairement une perte de gaz, c'est-à-dire sans que les aéronautes soient obligés de recourir à la soupape.

Nous pensons cependant que le système de ballon-montgolfière décrit au chapitre V permettrait de résoudre assez facilement la question, en faisant usage d'un ventilateur à grand débit, de façon à remplacer rapidement l'air chaud de l'enveloppe par de l'air froid, lequel refroidira à son tour le gaz par suite de la transmission du calorique à travers l'étoffe du ballon-porteur.

Ainsi, en admettant qu'au moment de la descente la différence de température entre l'air de l'enveloppe et l'air extérieur soit de 50°, le remplacement de chaque mètre cube d'air chaud, supposé à la pression de 760 m/m, donnerait une force descensionnelle de : $1,3 \times 1 \times 0,00367 \times 50 = 0$ k. 238 ; de sorte que pour produire une chute d'équilibre de 300 ks (poids de l'ancre), il faudrait que le ventilateur pût remplacer

$$\frac{300}{0,238} = 1258 \text{ m. c.}$$

d'air chaud à 50° avant que l'ancre touche le sol.

— Notre aérostat formant parachute, nous pensons que les aéronautes auraient tout le temps nécessaire pour produire une force descensionnelle suffisante pour atterrir dans de bonnes conditions ; mais s'il était nécessaire d'obtenir une descente plus rapide, on pourrait très bien supprimer l'action du ventilateur en *ouvrant complètement* la soupape automatique, de manière à ce que l'air chaud puisse s'échapper de lui-même sous l'influence de la pression exercée par les parois de l'enve-

loppe qui viendraient alors s'appliquer sur celles du ballon porteur.

Ce dernier système serait assez pratique avec un aérostat de forme cylindrique, mais il présente l'inconvénient de détruire la permanence de la forme de l'aérostat, de sorte que si l'intensité du vent était assez grande pour exiger que l'aérostat fût entièrement gonflé au moment de l'atterrissage, il faudrait vider rapidement l'enveloppe et la remplir immédiatement après par de l'air froid lancé par le ventilateur, de façon à ce que les parois de l'aérostat soient bien tendues lorsque l'ancre viendra heurter le sol.

Un troisième moyen que l'on pourrait employer seul ou en combinaison avec les deux autres, consisterait à diminuer le plus possible la pression de l'air de l'enveloppe, peu de temps avant la descente, et à augmenter ensuite la pression intérieure [système de Meusnier].

Pour un ballon de 8000 mètres cubes, la force descensionnelle ainsi produite serait d'environ 100 ks pour une augmentation de pression de 100 m/m.

Enfin, une circonstance qui facilitera beaucoup la production d'une force descensionnelle suffisante, est que le rapport des poids spécifiques de l'air et des gaz du ballon ira sans cesse en diminuant à mesure que l'aérostat se rapprochera du sol, par suite de la température plus élevée que possèdent généralement les couches d'air inférieures.

Nous avons vu, en effet, en nous basant sur les calculs de M. Renard, qu'un ballon de 8000 m. c. descendant d'une hauteur de 2000 m. éprouverait un alourdissement de 373 ks pour un écart de température de 12°, et que ce chiffre devait être considéré comme un minimum s'il



pleuvait ou si les couches inférieures traversées par l'aérostat étaient simplement chargées d'humidité.

— En tenant compte de ces différentes causes de perte de force ascensionnelle, on arrive à cette conclusion que les descentes pourront généralement se faire dans d'excellentes conditions, sans qu'il soit nécessaire d'exagérer les dimensions du ventilateur et sans avoir recours à la soupape à gaz.

L'ancre ayant touché terre, on continuera à refroidir les gaz du ballon jusqu'à ce que la plus grande partie de la chaîne guide-rope C repose sur le sol ; puis un homme descendra pour compléter l'amarrage au moyen d'un certain nombre de piquets fixés au jas de l'ancre.

La forme du grappin paraissant préférable à celle de l'ancre à deux branches, il y aurait probablement avantage à remplacer cet organe par une série de petits grappins convenablement espacés et attachés solidement à la chaîne guide-rope.

L'aérostat étant ainsi solidement amarré, les autres voyageurs pourront être descendus à terre au moyen d'une petite nacelle en osier spécialement affectée à ce service, ainsi qu'au chargement du lest, de l'eau et du combustible.

Pendant toute la durée du voyage, l'échauffement de l'air devra se faire de préférence par simple transmission à travers les parois du ballon porteur ; car un renouvellement trop fréquent de l'air de l'enveloppe ne permettrait pas de recueillir la totalité de l'eau de condensation. Mais, un peu avant d'effectuer la descente, on pourra fort bien lancer directement la vapeur au milieu

de l'air de l'enveloppe, afin d'obtenir ensuite plus rapidement la force descensionnelle voulue.

Dans le calcul de la force descensionnelle produite par le remplacement de l'air chaud par de l'air froid, il sera bon de tenir compte du léger échauffement de l'air lancé par le ventilateur, échauffement qui croît assez rapidement avec la vitesse de rotation de l'appareil, ainsi qu'il est facile de le constater en plaçant un thermomètre dans le tuyau de refoulement. Ce phénomène est dû à la compression et surtout au mauvais rendement des ventilateurs qui n'utilisent souvent que le 1/6 ou le 1/7 du travail dépensé ; les six autres septièmes, absorbés par les frottements de la machine et par le choc de l'air contre les palettes du ventilateur doivent évidemment se retrouver sous forme de chaleur ou d'électricité. Les températures excessives observées à bord des grands navires de guerre, n'ont pas d'autre cause, et il a presque toujours suffi de disposer les ventilateurs de manière *à aspirer* l'air chaud pour que la température des chambres de chauffe s'abaissât aussitôt.

Résistance de l'air. — Dimensions des parachutes. Vitesse descensionnelle maxima d'un aérostat. — Formules à employer.

Si nous nous en rapportons à la 4e édition du *Dictionnaire de Laboulaye* nous voyons qu'en réunissant les résultats obtenus par Dubuat, Borda, Thibaut, et en se bornant au cas d'un corps terminé par un plan et se mouvant dans l'air en repos, on a pour la résistance de l'air la formule suivante, dans laquelle A représente la surface antérieure en mètres carrés du corps traversant



l'air suivant une direction normale à sa surface, V sa vitesse en mètres, K un coefficient variable avec la longueur du corps, et enfin Q la résistance définitive en kilogrammes produite par l'air contre le corps :

$$Q = 0{,}0625\ KAV^2.$$

Pour une surface mince, K = 1,43 ; pour un cube K = 1,17 ; et pour un prisme dont la longueur est égale à 3 fois le côté de la surface antérieure, K = 1,10.

Le travail résistant de l'air est représenté par le produit de la force Q et du chemin parcouru par le plan ; ce chemin étant proportionnel à la vitesse, il en résulte que, lorsqu'un corps se meut avec une vitesse double, la résistance de l'air nécessite pour être vaincue pendant le même temps un travail 8 fois plus considérable.

Pour un *parachute* la résistance du plan de projection de la surface étant 1, la résistance agissant suivant la concavité était 1,94 ; en sens contraire, elle n'était que 0,77.

M. Thibaut a constaté en outre que quand deux surfaces égales se trouvaient placées *l'une derrière l'autre*, dans la direction du mouvement du fluide, la résistance était beaucoup plus près *d'égaler* celle des deux surfaces séparées, qu'on ne pouvait le supposer. Ainsi, pour deux carrés placés à une distance égale à leurs côtés parallèles, de manière à se recouvrir exactement, M. Thibaut a trouvé la résistance égale à 1,7 fois celle d'une surface isolée. Quand le plan postérieur débordait de 0,4 de sa surface le plan antérieur, la résistance était 1,95 fois celle du plan isolé, pour tomber à 1,84 quand elle devenait 0,9 ; passé ce terme elle s'approchait de la valeur 2, circonstance très heureuse qui permettra de réduire beaucoup l'étendue des surfaces horizontales destinées à former parachute ou aéroplane.



Nous avons cru devoir rappeler ici ces chiffres, bien qu'ils ne soient probablement pas d'une grande exactitude, car c'est à peu près là les seules données que nous possédions sur la résistance de l'air.

Le calcul suivant, donné par le général Poncelet, pour déterminer les dimensions d'un *parachute*, fournit un exemple de l'application des formules précédentes.

« D'après les expériences de Thibaut, dit Poncelet, pour une flèche comprise entre 1/3 et 1/4 de l'envergure ou diamètre moyen du parachute, la résistance serait 1,15 fois celle d'un plan mince qui aurait pour aire la projection A de sa surface, sur un plan perpendiculaire à son axe vertical. D'un autre côté, nous savons que la valeur la plus probable de K pour ces derniers plans est de 1,3 ; on aurait donc dans le cas actuel $K = 1{,}3 \times 1{,}15 = 1{,}5$ en nombre rond ; de sorte qu'en supposant au parachute un diamètre moyen de 8 mètres, ce qui donne une surface A = 50 m. q. 265, on pourrait calculer sa résistance par la formule :

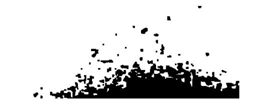
$R = 0{,}0625 + 1{,}5\ AV^2 = 0{,}0938\ AV^2 = 4{,}715\ V^2$ kilogrammes. »

« D'après cela, en supposant que le poids du voyageur et de tout le surplus de l'équipage mesuré dans l'air soit de 85 kilos, la plus grande vitesse que puisse acquérir le parachute, dans sa descente, sera donnée par l'équation :

$84\ \text{ks} = 4{,}715\ V^2$ ou $V = \sqrt{18{,}277} = 4$ m., 25 par seconde. »

Une telle vitesse *limite*, en supposant qu'elle pût être atteinte, serait assez faible pour prévenir un accident à l'instant où la nacelle toucherait la terre. Un calcul inverse, et tout aussi simple, servirait à trouver la valeur de l'aire A, propre à satisfaire à toute autre condition.

Pour être exact, il faudrait tenir compte également de



la résistance de la nacelle et des cordages, ainsi que nous allons le faire pour le calcul de la vitesse avec laquelle descendrait un ballon-montgolfière de 8000 mètres cubes sous l'influence d'un alourdissement de 300 kilos reconnu suffisant pour que l'atterrissage se fasse dans de bonnes conditions.

Les joues latérales de notre aérostat étant disposées de façon à former parachute, on pourra faire $K = 1,5$ pour la partie cylindrique du ballon, en raison de *la grande surface* qu'elle présente. La surface formant parachute étant égale à environ $34 \times 15,63 = 531$ m. q. 42 ; celle des deux cônes extrêmes à $15,63 \times 11,72 = 183$ m. q. 18 ; et celle de la nacelle à $6 \times 3 = 18$ m. q. nous aurons approximativement, en négligeant la résistance des suspentes et autres accessoires, la relation :

$$300 = 0,0625\ [1,5 \times 531 + 0,90 \times 183 + 1,3 \times 18]\ V^2$$

en faisant $K = 0,90$ pour les deux cônes extrêmes. (1)

En effectuant les calculs on trouve $V = 2$ m. 207 pour la vitesse de descente de l'aérostat. Il en résulte que si le ballon se trouvait à l'altitude de 2000 mètres, la durée de la descente serait de :

$$\frac{2,000}{2,207} = 905 \text{ secondes.}$$

soit un peu plus d'un quart d'heure. Les aéronautes auraient donc tout le temps nécessaire pour produire la

(1) Ce dernier coefficient correspond à la résistance qui serait donnée par la formule

$$R = 0,024\ A^{1,10}\ V^2,$$

établie par M. Mangon par des expériences directes faites sur des ballons tirés à diverses vitesses assez petites ; et bien que l'on obtienne ainsi une valeur plus élevée que celle qui résulte des expériences de Hutton sur les boulets [0,64] nous pensons pouvoir l'adopter ici pour tenir compte de la résistance des suspentes et autres accessoires, laquelle est beaucoup plus considérable qu'on ne serait tenté de le croire à priori.

force descensionnelle voulue par la simple manœuvre du ventilateur. Il convient cependant de remarquer que cette vitesse ne restera pas rigoureusement constante pendant toute la durée de la descente, car il faudrait tenir compte également des variations de la densité de l'air (1).

— Si par suite d'une déchirure ou de tout autre accident la force descensionnelle devenait brusquement égale au poids total de l'aérostat, c'est-à-dire à 4532 kilos, on aurait, en admettant que la surface formant parachute restât la même :

$$4532 = 0{,}0625 \times 984 \text{ m. q.} \times V^2.$$

d'où l'on tire $V = 8$ m. 50, vitesse assez faible pour que les aéronautes aient le temps d'alléger rapidement l'aérostat en jetant par-dessus bord tout ce qui n'est pas fixé invariablement à la nacelle, c'est-à-dire l'ancre, le câble, la chaîne guide-rope, le treuil, l'eau, le pétrole, le ventilateur et les instruments d'observation, soit un total de 1826 kilogrammes. L'aérostat ainsi allégé ne posséderait plus alors qu'une vitesse d'environ 6 m. 70, ce qui n'a rien d'exagéré.

Ces chiffres montrent le peu de danger que présente-

(1) Pour donner une idée des diminutions de la densité de l'air à mesure que l'on s'élève, nous croyons devoir reproduire le tableau suivant des élévations correspondantes à différentes hauteurs barométriques, pour la latitude 45°, la pression 0,76 au niveau de la mer, et la somme des températures aux stations extrêmes égales à zéro (Dictionnaire de Laboulaye).

Longueur des colonnes barométriques.	Élévation du lieu d'observation au-dessus du niveau des mers.
0,70	657 m.
0,60	1888
0,50	3344
0,40	5127
0,30	7425



rait la rupture des parois de l'aérostat, et il y a tout lieu de croire que si un pareil accident se produisait, les voyageurs en seraient quittes pour quelques contusions, attendu que chacun d'eux pourra prendre ses précautions en vue d'amortir la violence du choc, tandis que dans les accidents de chemin de fer, par exemple, où la vitesse est beaucoup plus considérable, il est rare que les voyageurs soient prévenus à l'avance.

Avec un ballon sphérique ordinaire, la vitesse de la descente serait beaucoup plus grande, mais il existe cependant des cas, où cet accident s'étant produit, l'étoffe vide du ballon a formé un parachute suffisant pour empêcher les aéronautes d'être broyés en arrivant à terre. [Voir l'*Aéronaute* de juin 1883.]

Nous ferons remarquer enfin que si l'on supprimait les joues latérales de l'aérostat, la vitesse de la descente serait de 2 m. 87 au lieu de 2 m. 20 pour une force descensionnelle de 300 ks; et de 11 m. 17 dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour 4532 ks, en prenant pour K les 0,57 de la pression qui se produirait sur le plan mince, c'est-à-dire en faisant $K = 0,57 \times 1,3 = 0,741$. — Il n'y aurait donc pas grand inconvénient à supprimer les joues de l'aérostat, ainsi que nous conseillerons de le faire toutes les fois que la vapeur d'échappement de la machine pourra être entièrement condensée au moyen d'un aéro-condenseur.

Les formules précédentes, empruntées au Dictionnaire de Laboulaye, pourront fournir des indications précieuses pour le calcul des appareils aérostatiques ; mais nous ne saurions cependant affirmer leur exactitude en ce qui concerne l'application que nous venons d'en faire,

attendu que les chiffres donnés par les expérimentateurs qui se sont occupés de la résistance de l'air diffèrent beaucoup trop pour qu'on puisse établir d'une façon certaine la valeur des coefficients qu'il convient d'adopter.

Les expériences qui ont été faites sur la résistance de l'air ne se rapportent en général qu'à de très petites surfaces, comme celles des boulets et des plans minces de un mètre carré de surface ; de sorte que quand il s'agit d'une surface aussi considérable que celle d'une voile ou d'un aérostat, la plus grande incertitude règne dans le choix du coefficient K relatif au plan mince, et à plus forte raison dans la correction qu'il convient de lui faire subir suivant la forme et l'inclinaison des corps exposés à l'action du vent. Aussi ne faut-il pas s'étonner de ce qu'un grand nombre de personnes aient voulu rectifier les formules fondamentales de la résistance des fluides, établies par Newton et soient généralement arrivées à des résultats invraisemblables en raison du peu de précision de leurs expériences particulières.

Les formules qu'on trouve dans la plupart des publications ayant trait à l'aérostation sont complètement erronées et ne reposent sur aucune donnée sérieuse, surtout en ce qui concerne la fameuse loi du sinus de l'angle d'inclinaison sur la valeur duquel on n'a jamais pu se mettre d'accord, attendu que nous le voyons figurer à peu près sous toutes les formes qu'il est susceptible de prendre :

$$\sin. i, \ \sin.^2 i, \ \sin.^3 i, \ \frac{2 \sin. i}{1 + \sin^2 i}, \ \frac{\sqrt{\sin^2 i}}{4 - 3 \sin^2 i}, \text{ etc.},$$

pour ne parler que des expressions les plus simples, expressions que nous nous garderons de discuter, jusqu'à ce que des expériences sérieuses aient élucidé la question.

Les résultats obtenus par MM. Giffard, Dupuy de



Lôme, Tissandier, Renard et Krebs, suffisent pour calculer approximativement la résistance opposée par l'air à la marche des aérostats ; quant aux calculs relatifs aux appareils plus lourds que l'air, nous pensons qu'il est assez indifférent de savoir si l'on doit se servir du $sin.^2 i$ ou du $sin^3 i$, car le problème de *l'autolocomotion ne pouvant pratiquement être résolu qu'au moyen de l'hélice*, il sera toujours possible d'obtenir un travail donné, en augmentant convenablement la vitesse et les dimensions de ce propulseur dont le rendement paraît être le même que celui de l'hélice maritime.

En procédant ainsi, on sera à peu près certain d'obtenir un résultat satisfaisant, sans qu'il soit besoin de se livrer à des calculs transcendants sur la forme la plus convenable à donner aux ailes de l'hélice aérienne.

« D'après Uhland, si l'on désigne par P la pression « de l'air, en kilogrammes ; F la surface en mètres car« rés d'un plan placé verticalement ; v la vitesse de l'air « en mètres par seconde ; δ le poids d'un mètre cube « d'air = 1,293 kilogrammes pour la température de « 13° centigrades et la pression de 1 atmosphère ; φ un « coefficient empirique, dont la valeur est pour de pe« tites surfaces égales à 1,86, mais peut s'élever jusqu'à « 3 pour de grandes surfaces ; on a en kilogrammes :

$$(1) \qquad P = \varphi \, \delta \, \frac{F v^2}{2 g}$$

« lorsque l'action d'une masse d'air en mouvement se « fait sentir sur une surface en repos placée normalement « à la direction de ce mouvement. Mais si la surface fait « un angle α avec la direction du mouvement, on a :

$$(2) \qquad P = \varphi \, \delta \, \frac{F v^2}{2 g} \sin.^3 \alpha .$$

« pour valeur de la composante de la pression normale « à la surface.

« La pression d'une masse d'air agissant sur un cylin-

« dre a pour valeur les 0,57 de la pression qui se pro-
« duirait sur une surface plane égale à la projection du
« cylindre. »

En appliquant la formule (1) à un aérostat sans joues latérales, possédant une force descensionnelle de 300 ks, on aurait en faisant $\varphi = 3$:

$$300 = \frac{1,293 \times 3 \, [0,57 \times 714 \times 18] \, V^2}{19,62}$$

d'où l'on tire $V = 1$ m. 89 au lieu de 2 m. 87, ce qui montre que la résistance de l'air donnée par cette formule est beaucoup plus grande que celle qui serait obtenue par les formules précédentes.

Si la force descensionnelle était de 4532 ks, la vitesse de la descente ne serait plus que de 7 m. 32, au lieu de 11 m. 17. Les résultats fournis par le calcul sont donc trop incertains pour qu'on puisse évaluer avec quelque chance d'exactitude la vitesse des descentes, mais nous pensons néanmoins qu'on pourrait, sans grande erreur, prendre la moyenne des résultats donnés par l'application des formules ci-dessus.

Le tableau des pressions exercées par les différentes espèces de vent pourra servir à contrôler les résultats obtenus.

Hélice aérienne.

De tous les appareils propulseurs proposés pour la navigation aérienne, l'hélice peut être considérée comme le plus simple et le meilleur ; car il est loin d'être prouvé que l'imitation du vol des oiseaux soit préférable au point de vue de l'utilisation du travail moteur.

Quant à l'emploi des rames et des roues proposé par



une multitude d'inventeurs, il ne souffre guère la discussion, attendu que le mode de fonctionnement de ces appareils ne saurait, évidemment, être assimilé à celui des rames ou des roues d'un bateau. Pour qu'une roue à palettes pût servir à la propulsion d'un aérostat, il faudrait que la plus grande partie de la roue fût renfermée dans une caisse, de façon à ce que l'action des palettes sur l'air ambiant se fît sentir seulement à la partie inférieure ; mais l'effet utile d'un pareil propulseur serait toujours très inférieur à celui de l'hélice à cause des chocs et des frottements.

Le système de propulsion qui consiste à refouler de l'air à l'arrière du navire aérien au moyen d'un ventilateur, fournirait peut-être de bons résultats ; mais il présente l'inconvénient d'exiger des tuyaux de refoulement d'une section énorme, pour peu qu'on veuille obtenir un effet utile comparable à celui de l'hélice. Dans ces appareils l'effet utile maximum correspond, en effet, au cas où la vitesse de l'air dans les conduites de refoulement est égale à la vitesse de l'aérostat, et la réalisation de cette condition est très difficile à réaliser pratiquement. Le refoulement de l'air au moyen d'un ventilateur à jet de vapeur (système Koerting ou autre), ou plus simplement encore au moyen de jets de *vapeur surchauffée*, lancés à de très courts intervalles, mériterait cependant d'être étudié dans le cas où l'on renoncerait à condenser la vapeur d'échappement.

On a proposé également l'action des corps explosifs pour opérer le refoulement de l'air, ainsi que l'emploi d'une rame unique placée à l'arrière de la nacelle et animée d'un mouvement de va-et-vient comme la rame des gondoles vénitiennes ; mais ces systèmes n'ont jamais été sérieusement étudiés, et l'on ne possède aucun résultat d'expérience permettant d'en apprécier la va-

leur. Nous nous bornerons donc à l'étude de l'hélice qui a déjà fait ses preuves comme propulseur aérostatique.

L'hélice aérienne peut être considérée comme une vis à un ou plusieurs filets, qui, mue dans l'air avec rapidité, trouve dans l'inertie de celui-ci une résistance analogue à celle qu'elle trouverait en tournant dans un écrou métallique ; d'où résulte la progression en avant.

La condition essentielle de l'emploi de l'hélice est donc une *vitesse assez grande* pour que l'air résiste, malgré l'extrême mobilité de ses molécules.

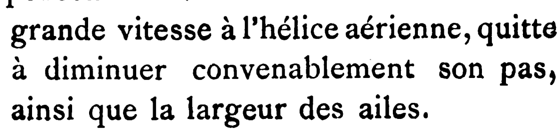
Le pas de l'hélice devrait être la mesure de l'avancement du navire aérien pour chaque tour accompli ; mais à cause de la mobilité des molécules d'air, la progression sera moindre et la différence est ce qu'on appelle le *recul* de l'hélice qui est le mode habituel d'estimer la perfection de sa construction. Il faudra donc que le pas de l'hélice multiplié par le nombre de tours accompli par seconde donne une vitesse supérieure à la vitesse maxima prévue pour l'aérostat.

Quant à la détermination du diamètre de l'hélice, nous ne pensons pas qu'il soit possible de donner de règle précise à cet égard, par suite du petit nombre de données dont on dispose actuellement non seulement pour l'hélice aérienne, mais encore pour l'hélice maritime, dont les dimensions sont déterminées d'après le tirant d'eau du navire. Nous devons dire, cependant, qu'il est généralement admis dans la marine qu'on doit donner à l'hélice le plus grand diamètre possible, suivant le travail moteur des machines, afin de la faire agir sur une masse d'eau considérable, qui ne prenne pas facilement un mouvement *giratoire* qui annule l'action du propulseur.

La petite hélice de 2 m. 80 de diamètre employée par

M. Tissandier paraissant avoir fourni d'aussi bons résultats que les espèces d'ailes de moulin à vent employées par M. Dupuy de Lôme, il semblerait que le diamètre de l'hélice aérienne n'a qu'une importance assez secondaire. La principale condition à réaliser est que l'air arrive facilement sur l'hélice et qu'elle l'abandonne aisément dans la direction du mouvement, afin qu'il ne soit pas entraîné dans le mouvement giratoire, ce qui exige que l'hélice soit *bien dégagé vers son centre*, et que sa *vitesse de rotation* soit telle que la transmission de son mouvement au fluide dans lequel elle se meut n'ait pas le temps de s'effectuer, ainsi que cela se produit, par exemple, lorsqu'une balle de fusil animée d'une vitesse de 2 à 300 mètres par seconde traverse une porte sans même la faire remuer. Il faudra, de plus, que les ailes de l'hélice soient séparées par un espace suffisant dépendant du pas qu'on leur aura donné et de la vitesse de rotation de l'appareil.

Dans la pratique, c'est surtout par *une grande vitesse de rotation* que l'on a obtenu un bon fonctionnement, et ce qui est vrai pour l'eau doit l'être à plus forte raison pour un fluide dont la densité est environ 800 fois moindre. Aussi pensons-nous devoir donner une très



grande vitesse à l'hélice aérienne, quitte à diminuer convenablement son pas, ainsi que la largeur des ailes.

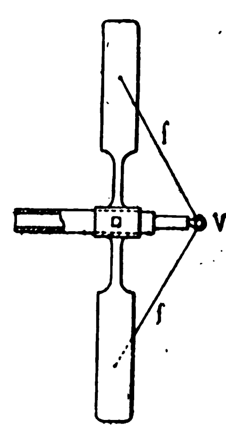


Fig. 18.

L'invariabilité de forme de l'hélice étant une des premières conditions à remplir, il sera indispensable d'empêcher la flexion des ailes au moyen d'un ou plusieurs fils de fer fixés vers le centre des palettes et venant s'attacher à une vis V disposée de façon à jouer le rôle de tendeur (fig. 18.)

Une vitesse de rotation de 2000 tours

à la minute pour une hélice métallique en acier trempé, ne nous paraît pas excessive, car il n'est pas rare de voir dans la marine des hélices faisant 2 à 300 révolutions par minute.

Une autre disposition, préférable peut-être pour des hélices marchant à grande vitesse, consisterait à faire usage d'une sorte de roue métallique dont les rayons seraient formés par des rubans d'acier tordus très légèrement de façon à appuyer sur l'air pendant la rotation de l'appareil.

Selon nous, la poussée théorique maxima d'une hélice tournant avec une vitesse infinie devrait être égale à la surface de ses ailes multipliée par la pression atmosphérique qui, comme on le sait, est de 1 k. 0336 par c. m. q. et peut équilibrer une colonne d'eau de 10 m. 336. La poussée obtenue dépendrait alors du vide plus ou moins parfait que la rotation des ailes produirait sur leur face antérieure en vertu de l'inertie du fluide attaqué. La surface des ailes d'une hélice devrait donc être d'autant plus grande que la pression atmosphérique serait moindre, et il faudrait toujours se donner une marge assez grande si l'on désirait que la poussée restât sensiblement la même aux différentes altitudes atteintes par l'aérostat.

Dans le cas de l'aérostat de Meudon, la résistance approchée du ballon étant de 22 ks 8, il aurait suffi, par exemple, de donner aux ailes d'une hélice tournant avec une vitesse infinie, une surface minima d'environ 22 centimètres carrés pour obtenir le même travail de traction, ce qui montre bien l'inutilité des immenses ailes de moulin à vent dont on a muni jusqu'ici les aérostats dirigeables.

L'idée d'employer des hélices de petit diamètre marchant à grande vitesse, commence d'ailleurs à se faire jour, car nous lisons dans l'ouvrage de M. de Graffigny,

sur la *Navigation aérienne et les ballons dirigeables* (1888), qu'il a été récemment essayé en Amérique, dans le Connecticut, un ballon cylindrique pourvu d'une hélice tournant à raison de deux mille tours par minute. Ce ballon a pu, paraît-il, tenir tête au vent pendant plus d'une heure ; puis la machine venant à faiblir ou le courant à grandir, l'appareil tout entier a été emporté par la force de la bourrasque.

Bien que ce qui nous vient d'Amérique soit souvent sujet à caution, nous sommes parfaitement d'accord avec le constructeur américain en ce qui concerne l'emploi des hélices à grande vitesse, et nous ferons remarquer à ce sujet que parmi les nombreux appareils plus lourds que l'air, les seuls qui puissent se maintenir un certain temps dans les airs sont les hélicoptères munis d'une hélice à pas très faible et animée d'une grande vitesse de rotation. L'hélicoptère que M. Philipps réussit à enlever en 1842 au moyen d'une hélice à réaction à travers les bras de laquelle s'échappait la vapeur était construite dans ces conditions.

La nécessité des grandes vitesses de rotation étant admise, il conviendra de remplacer partout où on le pourra les frottements de glissement par des frottements de roulement, ainsi que cela se fait par exemple pour les roues des vélocipèdes, de façon à réduire le plus possible les résistances passives de la machine.

L'emploi de l'acier chrômé, convenablement trempé, paraît excellent pour la fabrication de l'hélice aérienne ; mais nous n'excluons pas, bien entendu, les autres matières d'origine végétale ou animale. Certaines matières obtenues avec la cellulose conviendraient parfaitement en raison de leur grande légèreté.

CHAPITRE X.

—

Aviation.

Nous terminerons notre étude sur la navigation aérienne en disant quelques mots de la possibilité de s'élever dans l'atmosphère au moyen d'appareils plus lourds que l'air, afin que le lecteur puisse se faire une idée exacte de la valeur de ce système de locomotion qui a ses partisans convaincus et qui, disons-le tout de suite, paraît réalisable, à la condition toutefois de renoncer à imiter le vol des oiseaux.

Si nous abordons ici l'étude du vol proprement dit, c'est donc uniquement pour en démontrer la possibilité *au point de vue théorique*, car les chiffres les plus fantaisistes ont été donnés sur le travail mécanique dépensé par les oiseaux.

— Le vol des oiseaux ayant toujours excité la jalousie des hommes, comme le montre la tradition d'Icare, il y a lieu de se demander si l'homme possède réellement une force musculaire suffisante pour voler dans l'air. La question ainsi posée ne peut évidemment être résolue que par l'affirmative ; car le travail dépensé par un homme qui marche ou qui gravit, par exemple, les échelons d'une échelle, est théoriquement le même que celui qu'il dépenserait en s'élevant à la même hauteur au moyen d'une paire d'ailes idéales utilisant la totalité du travail dépensé.

Malheureusement le vol ne peut être obtenu qu'à la condition que l'homme trouve sur l'air un point d'appui suffisant pour équilibrer son poids, non seulement pendant la période d'abaissement des ailes, mais encore pendant leur élévation. S'il en était autrement, l'action de la pesanteur le ramènerait à son point de départ, à moins toutefois que l'effort développé pendant la période d'abaissement ne soit suffisant pour imprimer à son corps une puissance vive supérieure à celle que pourrait fournir en sens inverse l'action de la pesanteur, pendant l'élévation des ailes.

Il serait donc indispensable d'empêcher, ou tout au moins de réduire l'amplitude des descentes pendant l'élévation des ailes ; d'autant plus que cette période du vol est celle qui demande le plus de temps. Les oiseaux réalisent assez bien cette condition en utilisant, au moyen de leurs ailes, le mouvement de translation horizontale qu'ils possèdent, mouvement qui doit être assez rapide pour que l'inertie de l'air n'ait pas le temps d'être vaincue ; c'est cet effet d'aéroplane qui permet le relèvement des ailes en diminuant la vitesse des descentes entre deux battements consécutifs.

Dans le vol vertical, au contraire, l'oiseau est obligé d'opérer par bonds successifs, ce qui exige un grand déploiement de force, car alors la poussée du coup d'aile doit être de beaucoup supérieure à celle du poids de l'animal, pour obtenir un mouvement ascensionnel suffisamment rapide.

Le vol horizontal diffère donc du vol vertical en ce que l'effort dépensé dans *l'unité de temps* est relativement assez faible, et il est facile de voir que si l'oiseau bat encore des ailes, c'est uniquement pour conserver la *vitesse horizontale* qui lui donne un point d'appui sur l'air et l'empêche de tomber. Dans ce dernier cas, la

poussée de sustentation est évidemment égale au poids du volateur, de sorte que si les ailes jouaient le rôle d'un aéroplane parfait, il n'y aurait d'autre travail dépensé que celui qui correspond à la résistance de l'air dans le sens horizontal ; mais comme cette condition ne peut être réalisée dans la pratique, en raison de la surface considérable qu'il faudrait donner aux ailes, il convient de tenir compte également du travail dépensé pour obtenir de la part de l'air une résistance ou poussée de sustentation égale au poids du volateur. Si la poussée de sustentation était supérieure au poids du volateur, celui-ci s'élèverait dans les airs, et si cette poussée était inférieure il y aurait chute.

Il résulte de là que dans le vol horizontal, et à plus forte raison dans le vol vertical, il y a toujours un certain travail mécanique dépensé pour obtenir la sustentation, travail qu'il faut évidemment ajouter à celui qui correspond à la vitesse acquise dans le sens horizontal, vitesse que les oiseaux obtiennent par la simple inclinaison de leurs ailes pendant le battement.

Le seul cas où il n'y aurait pas à proprement parler de travail dépensé serait celui où l'oiseau utiliserait l'action de la pesanteur pour voler ou, plutôt, pour *planer* horizontalement en développant complètement ses ailes ; mais alors il y aurait chute, et il lui faudrait bientôt battre énergiquement des ailes pour vaincre l'action de la pesanteur et faire, en s'élevant, une nouvelle provision de force qui lui permette de planer de nouveau et de se reposer sur sa voilure.

Si donc un homme avait des ailes d'une étendue suffisante pour produire un effet d'aéroplane au moins égal à celui des ailes des oiseaux, rien ne s'opposerait à ce qu'il volât horizontalement en dépensant pour cela un travail assez minime ; car, ainsi que nous venons de le voir, la

sustentation proprement dite n'exigerait aucun effort si les molécules d'air étaient en quelque sorte soudées entre elles comme celles des corps solides, et s'il n'était pas nécessaire de se créer un point d'appui en les frappant avec une vitesse assez grande pour qu'elles résistent en vertu de leur inertie ; mais il en serait tout autrement s'il fallait s'élever verticalement dans les airs avec une certaine vitesse.

—Le calcul suivant, que nous trouvons dans le Dictionnaire de Laboulaye, montre combien il serait absurde de chercher à réaliser le vol vertical en donnant aux ailes une *vitesse d'abaissement* insuffisante.

« La résistance de plateaux de surface S, mus dans l'air, « avec une vitesse V, a été trouvée par Piobert égale à « un nombre de kilogrammes exprimé par la formule « $R = 0{,}084\ S\ V^2$.

« Demandons-nous quelle devrait être la surface de « l'espèce d'aile, du plateau qu'un homme, pesant 65 ks, « devrait manier pour se soutenir dans l'air ou pour « qu'on ait à chaque instant :

$$65 = 0{,}084\ SV^2$$

« L'effort musculaire que l'on peut faire pour soulever « un poids égal à celui du corps ne peut être produit « qu'avec une *très faible vitesse* ; les expériences indi- « quent qu'on ne peut pas l'évaluer à plus de 0 m. 25.

« L'équation ci-dessus donne alors :

« $$65 = 0{,}084 \times 0{,}0625\ S = 0{,}00525\ S$$

d'où

« $$S = 12370 \text{ mètres carrés !}$$

La surface ainsi obtenue est véritablement effrayante, et nous comprenons parfaitement le point d'exclamation

de l'auteur. Mais rien ne force à abaisser les ailes avec une vitesse de o m. 25, attendu que cette vitesse se rapporte évidemment à l'élévation du corps de l'homme et non pas à l'abaissement des ailes.

Le calcul ci-dessus qui a été fait dans le but de démontrer l'impossibilité du vol de l'homme, ne prouve donc rien, si ce n'est qu'il faut donner aux ailes une vitesse supérieure à o m. 25 pour que la réaction de l'air sur leur surface puisse soulever un poids de 65 ks avec une vitesse de o m. 25 par seconde.

En donnant au centre d'action des ailes une vitesse d'abaissement de 10 mètres par seconde, la sustentation d'un poids de 65 ks serait obtenue avec une surface plane de

$$S = \frac{65}{0{,}084 \times 100} = 7 \text{ m. q. } 74$$

au lieu de 12370 m. q.

Quant au travail nécessaire pour vaincre l'action de la pesanteur et élever le poids de l'homme de o m. 25 par seconde, il serait le même dans les deux cas, et égal à $0{,}25 \times 65 = 16{,}25$ kilogrammètres, ce qui représente déjà un travail double du travail courant qu'un homme de force moyenne peut développer et montre qu'une vitesse ascensionnelle de o m. 25 par seconde serait très difficilement obtenue (1).

La question serait donc de savoir si l'on ne se heurterait pas à une impossibilité en ajoutant à ce travail celui

(1) Un homme sur une roue à chevilles effectue une quantité de travail, dans une journée de 8 heures, qui va jusqu'à 25,000 kilogrammètres, soit en chiffres ronds 9 kilogrammètres par seconde. — On admet en outre qu'il peut développer 15 kilogrammètres pendant une heure ; 30 kilogrammètres pendant quelques minutes ; 50 kilogrammètres pendant quelques secondes, et même 75 kilogrammètres lorsqu'il est vigoureux et peut employer bras et jambes comme dans l'appareil de Le Besnier.



qu'il faudrait dépenser pour produire la sustentation en frappant l'air avec des ailes.

Un homme très vigoureux pouvant développer le cheval-vapeur pendant quelques secondes, il y a tout lieu de croire qu'il pourrait exécuter le vol horizontal, et même s'élever dans les airs pendant quelques instants avec une vitesse de o m. 25, pour peu que le rendement des ailes soit comparable à celui de l'hélice et que le travail absorbé par les frottements de toutes sortes ne soit pas trop considérable.

Le Dr Hureau de Villeneuve, vice-président de la Société française de navigation aérienne, ayant déterminé la surface alaire convenable pour faire voler une chauve-souris dont le poids serait celui d'un homme, est arrivé à cette conclusion que chacune des ailes n'aurait pas une longueur supérieure à 3 mètres.

Règle générale, plus le poids d'un animal volant augmente, moins augmente proportionnellement la surface ailée nécessaire pour le soutenir bien que les mouvements qu'il doit faire soient plus lents, ce qui, entre parenthèse, ne veut pas dire que la vitesse moyenne du centre d'action de l'aile soit moindre, bien au contraire.

— Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'aile s'abaissait d'une façon continue; mais comme il faut tenir compte également de son relèvement, pendant la durée duquel il ne peut y avoir d'autre poussée de sustentation que celle que peut fournir la vitesse acquise dans le sens horizontal ou dans le sens vertical, on voit que l'effort dépensé pendant l'abaissement de l'aile serait en réalité beaucoup plus grand que celui que nous avons trouvé plus haut.

Il serait donc indispensable de répartir le travail sur un temps suffisamment long, en donnant à l'appareil

une vitesse horizontale assez grande pour que les ailes pussent former aéroplane pendant la période de relèvement. A ce dernier point de vue, l'hélice aérienne présente l'immense avantage de répartir uniformément le travail pendant toute la durée du vol, sans qu'il soit besoin de recourir à un parachute plan, dont la construction serait fort difficile à réaliser dans la pratique. Certains aviateurs prétendent, il est vrai, remédier à cet inconvénient par l'emploi de plusieurs paires d'ailes disposées de manière à ce que les unes s'abaissent lorsque les autres s'élèvent, et réciproquement ; mais ce système, quelque ingénieux qu'il soit, ne nous paraît pas valoir l'hélice au point de vue de la simplicité de construction, et probablement aussi à celui de la bonne utilisation du travail moteur (1).

(1) Après avoir raconté l'histoire lamentable des différentes tentatives faites pour imiter le vol des oiseaux, M. Miret, dans son intéressant rapport sur l'Aérostation à l'Exposition de 1878, donne le résumé suivant de l'état actuel de l'aviation en France :

« Tant de catastrophes indiquent clairement que l'homme est incapa- « ble de se maintenir dans l'atmosphère, quel que soit le mécanisme dont « il dispose, s'il n'a recours à d'autre force motrice que la force mus- « culaire. C'est une vérité que le calcul a d'ailleurs établie depuis long- « temps. Les partisans du vol mécanique, les aviateurs, sont cependant « nombreux, de nos jours. Dans leurs rangs on peut compter plusieurs « savants des plus éminents, mais leurs recherches ont pris une direc- « tion toute nouvelle. On s'est mis à étudier la structure des oiseaux, la « position de leur centre de gravité, le mécanisme de leur vol. Puis on « s'est efforcé de faire l'application des connaissances acquises, non « dans le but d'arriver immédiatement à un résultat pratique, mais, plu- « tôt, dans le dessein de poser les premiers principes d'un art que des « esprits très sérieux ne désespèrent nullement de voir progresser. Il est « juste de reconnaître que les aviateurs modernes ne sont pas sans pré- « curseurs. Le vol mécanique avait été fort délaissé pendant près d'un « demi-siècle, lorsque, il y a une vingtaine d'années, la question a été « portée à l'ordre du jour. Alors on a remis en lumière certains travaux « oubliés, tels que ceux de Lannoy, Bienvenu, en France, et surtout « ceux que Georges Cayley en Angleterre, publiait en 1809.

« Tout le monde connaît un jouet qui consiste à lancer à une certaine « hauteur un petit papillon artificiel posé sur une tige légère. Le mo- « teur de ce jouet est une ficelle enroulée autour de la tige et que l'on

Pour que l'aile pût être appliquée en aviation, il faudrait lui donner des dimensions gigantesques ou lui imprimer des mouvements alternatifs tellement rapides que la presque totalité du travail fourni par la machine serait absorbé en pure perte par les résistances passives, les chocs et les vibrations.

— La traction exercée par l'hélice aérienne devant être au moins égale au poids de l'appareil, le travail dépensé

« déroule rapidement. Un officier de marine, M. de la Landelle et M. « Ponton d'Amécourt eurent l'idée, en 1863, de substituer à la ficelle de « ce jouet, un ressort d'horlogerie et de donner à ses ailes la disposi- « tion d'une hélice. Ils obtinrent ainsi de nouveaux appareils, de dimen- « sions aussi exiguës que les premiers, mais portant avec eux leur mo- « teur et pouvant s'élever, sans impulsion extérieure, à la hauteur de 3 « ou 4 mètres. Un savant physicien, M. Babinet, les baptisa aussitôt « du nom d'hélicoptères. MM. de la Landelle et Ponton d'Amécourt « pensèrent que les hélicoptères pouvaient les mettre sur la voie tant « cherchée du vol mécanique.

« Vers la même époque M. Nadard, le photographe bien connu, s'oc- « cupait avec ardeur d'aérostation. Il était obsédé, surtout, de l'idée « d'arriver à la direction des ballons. Son impatience croissait avec les « obstacles qu'il rencontrait, lorsque MM. de la Landelle et Ponton « d'Amécourt lui firent connaître les hélicoptères et les espérances dont « ils étaient animés. L'imagination de M. Nadard s'enflamme aussitôt. « Il laisse de côté les ballons et devient l'un des plus fervents soutiens « du *plus lourd que l'air*. Journaux, brochures, conférences, tout lui « semble bon pour agiter la question à laquelle il vient de se rallier. « Si M. Nadard ne paraît pas avoir contribué beaucoup aux progrès de « l'art dont il se faisait l'apôtre, il a du moins eu le mérite de faire grand « bruit autour de l'idée nouvelle, d'attirer sur elle l'attention, d'être, en « partie, cause de l'intérêt, toujours croissant, avec lequel certains sa- « vants s'en occupent.

« Bientôt les aéroplanes, qui volent suivant une direction horizontale, « sont venus s'ajouter aux hélicoptères ; puis les orthoptères ou oiseaux « mécaniques, ont vu le jour. — Les orthoptères sont portés et poussés « en avant par deux ailes ; ils ont un vol saccadé se rapprochant de « celui des oiseaux.

« Pour ces appareils, tous de dimensions fort restreintes, puisqu'en « général leur poids ne dépasse pas 60 grammes, le moteur est tantôt « un ressort de montre, tantôt l'air comprimé, tantôt la force de torsion « d'une cordelette en caoutchouc.

« Les aviateurs français, MM. Penaud, Hureau de Villeneuve, Tatin.

peut être décomposé en deux parties bien distinctes : 1° Le travail dépensé pour imprimer à l'hélice une vitesse assez grande pour que la réaction de l'air dans le sens vertical, soit égale au poids de l'appareil. 2° Le travail absorbé pour vaincre l'action de la pesanteur et s'élever dans les airs avec une certaine vitesse.

— Le travail absorbé pour vaincre l'action de la pesanteur étant égal au produit du poids de l'appareil par le chemin parcouru dans le sens vertical ne donnerait lieu, théoriquement, qu'à un effort supplémentaire de traction assez faible, si la vitesse ascensionnelle se réduisait, par exemple, à quelques centimètres par seconde, et ce travail serait nul si l'appareil restait simplement suspendu à une même hauteur ou s'il venait à descendre.

Quant au travail qu'il faudrait développer pour produire la sustentation, il ne dépendra évidemment que du poids de l'appareil et du rendement de l'hélice au point de vue de la traction obtenue dans le sens vertical, rendement que l'expérience seule permettrait de déterminer d'une façon suffisamment exacte.

L'air résistant d'autant mieux par son inertie que la

« etc..., emploient de préférence la force de torsion du caoutchouc. Il « va sans dire que cette force est faible et s'épuise vite ; mais elle suffit « assez bien aux études théoriques qui occupent, ainsi que nous l'avons « dit, les partisans du plus lourd que l'air.

« A aucune époque, cette question n'a groupé un aussi grand nombre « d'esprits éminents. Nous avons cité plusieurs noms auxquels il con- « vient d'ajouter celui de M. Marey, professeur au Collège de France. « M. Marey a fait lui-même des expériences du plus haut intérêt et, tout « récemment, il a ouvert son laboratoire à M. Tatin qui est devenu un « aviateur distingué après avoir été un habile horloger, et à qui l'*Asso-* « *ciation pour l'avancement des sciences* accordait, en 1876, une subven- « tion pour le récompenser de ses travaux. M. Marey a consacré aux « expériences de M. Tatin une large place dans un ouvrage publié sous « sa direction, sous le titre de : *Travaux du laboratoire de physiologie* « *expérimentale.* »

vitesse des corps qui le frappe est plus grande, le rendement le plus avantageux correspondra toujours à une grande vitesse de rotation, ce qui exige que l'hélice ait un *très petit pas* et une *grande pureté de forme*. Lorsque la vitesse de rotation est extrêmement considérable, l'action de la force centrifuge contribue en outre à empêcher la flexion des ailes, qu'il conviendra par suite de faire aussi minces que possible, afin de diminuer la résistance de l'air perpendiculairement à l'axe de rotation.

— En ce qui concerne la traction que les hélices peuvent donner par cheval de force dépensée, nous ne saurions, en aucune façon, admettre le chiffre de 12 à 15 kilogrammes donné par quelques auteurs, attendu qu'une hélice construite, par exemple, pour avancer dans l'atmosphère avec une vitesse de 10 mètres par seconde, donnera toujours une traction beaucoup plus faible que celle que pourrait donner une hélice dont le pas serait calculé pour avancer une vitesse d'un mètre seulement. Dans ce dernier cas, en admettant que le rendement de l'hélice restât le même, la traction obtenue devrait être 10 fois plus grande, puisque le travail développé est égal à la poussée exercée par l'hélice multipliée par le chemin parcouru.

L'action de l'hélice peut donc être comparée à celle d'un verrin, et elle pourra soulever un poids d'autant plus considérable que son pas sera plus faible, toutes choses étant égales d'ailleurs. Il en résulte que si les dimensions d'une hélice sont bien calculées, il suffira d'une force relativement minime pour lui faire soulever un poids donné avec une faible vitesse ascensionnelle, quelques centimètres par seconde par exemple.

Quelque hasardée que cette assertion puisse paraître au premier abord, nous dirons donc que, si l'on faisait abs-

traction du frottement exercé par l'air sur les palettes de l'hélice, la sustentation d'un appareil plus lourd que l'air n'absorberait pas plus de force qu'une turbine ou un tambour cylindrique du même poids tournant dans le vide avec une vitesse égale. En d'autres termes, l'hélice sustentatrice peut être assimilée à un aéroplane dont la surface se réduirait à la surface des palettes et dont la vitesse serait égale à celle avec laquelle ces dernières tournent dans l'atmosphère. La grande difficulté consiste dans la réalisation pratique d'une hélice à très petit pas tournant avec une vitesse de plusieurs milliers de tours par minute, et ayant une surface alaire assez grande pour que la pression exercée sur cette surface soit capable de contrebalancer l'action de la pesanteur.

D'après la théorie que nous avons émise plus haut, la poussée maxima d'une hélice étant égale à la pression que l'atmosphère exercerait sur ses ailes si le vide existait par derrière, il est assez facile de calculer approximativement la surface qu'il faudrait donner aux ailes pour obtenir une traction déterminée, si l'on connaissait le degré de vide que la rotation d'une hélice produit sur la face antérieure des ailes.

L'emploi d'une hélice à grande vitesse et d'un pas très réduit ne permettant pas de donner une surface considérable aux ailes, il conviendrait probablement d'augmenter le nombre des hélices sustentatrices et de les placer, par exemple, les unes au-dessus des autres. Ce moyen très simple permettrait de tourner la difficulté et d'augmenter la surface alaire sans qu'il soit nécessaire de recourir à des hélices d'un diamètre exagéré.

— En admettant que le poids de la chaudière employée soit de 1 k. par kilogramme de vapeur produite [chaudière du Temple], celui de la machine motrice de 12 ks

par cheval [machine Giffard] (1), et que la consommation de vapeur et de combustible soit de 12 ks par cheval et par heure, le poids minimum d'un appareil pouvant marcher pendant *une heure* ressortirait à environ $12 \times 3 = 36$ ks par force de cheval, c'est-à-dire pour une force capable d'élever d'un mouvement continu un poids de 75 ks à un mètre de hauteur, en une seconde. Ce calcul, très simple comme on le voit, montre clairement que rien ne s'oppose à ce qu'une hélice actionnée par une machine d'un cheval puisse exercer une traction suffisante pour enlever un poids de 36 ks avec une vitesse inférieure à 1 mètre par seconde. Il suffirait pour cela que le rendement de l'hélice sustentatrice fût seulement de 50 o/o, ce qui paraît réalisable étant donnés les résultats obtenus par MM. Renard et Krebs qui, comme on le sait, ont fixé à 70 o/o le rendement probable de leur hélice.

Nous avons vu au commencement de cette étude que le poids minimum des moteurs à vapeur que l'on construit actuellement était d'environ 25 ks par cheval, compris la chaudière, et un approvisionnement d'eau et de combustible suffisant pour une heure de marche, de sorte que le poids de 36 ks, ci-dessus trouvé, peut être considéré comme un maximum.

Pour que l'enlèvement puisse se faire, il faudrait évidemment placer l'hélice au-dessus de la chaudière, qui constituera toujours la partie la plus lourde de l'appareil, et qu'il conviendrait, par suite, d'entourer d'une galerie circulaire très légère dont les montants verticaux supporteraient, par exemple, un immense parachute des-

(1) Un moteur Brotherhood pèserait environ 10 fois moins que l'ancienne machine de Giffard que nous avons pris pour type, afin de bien montrer que la question de la légèreté du moteur n'est pas aussi importante qu'on le croit généralement.

tiné à modérer la vitesse des descentes. La partie supérieure de l'arbre de l'hélice porterait un pivot tournant dans une crapaudine renversée placée au point de croisement d'une ou plusieurs traverses horizontales. Une petite hélice de direction, un gouvernail, une chaîne guide-rope et des ressorts destinés à amortir les chocs au moment de l'atterrissage compléteraient cet appareil dont la réalisation ne demanderait probablement pas de grands efforts d'imagination.

La seule difficulté sérieuse consisterait peut-être à éviter le mouvement de rotation de l'appareil sous l'influence du couple déterminé par les frottements de l'arbre et du pivot de l'hélice; mais comme le bras de levier de ce couple sera toujours très petit, il est probable qu'on pourrait facilement remédier à cet inconvénient par la seule action du gouvernail. Il faudrait, en outre, avoir soin de faire coïncider aussi exactement que possible l'axe de l'hélice avec la verticale passant par le centre de gravité de l'appareil, ce qui ne peut être obtenu que par une bonne répartition des poids de la nacelle (1).

En dehors des hélicoptères, nous ne voyons guère que les *aéroplanes* qui puissent fournir une solution satisfaisante du problème de l'aviation. — Selon nous, ces appareils devraient être munis d'une queue ou *gouvernail horizontal* fonctionnant *automatiquement* par un procédé analogue à celui que nous avons indiqué page 131, et il conviendrait de diminuer l'étendue des surfaces sustentatrices en les superposant suivant la méthode indiquée en 1868, par Stringfellow [voir dans la *Revue*

(1) L'emploi de tubes métalliques très-minces, rendus rigides au moyen de l'air comprimé, permettrait peut-être de réduire beaucoup le poids des nacelles aérostatiques, et serait par suite à étudier pour la construction des appareils plus lourds que l'air.



aéronautique d'Octobre 1888 la théorie des surfaces *lamellaires* donnée par M. le Commandant Renard].

Turbines à vapeur à détente et à réactions successives.

Bien que l'étude des machines à vapeur à réaction directe paraisse avoir été abandonnée depuis longtemps, et que ce genre de machine ne soit plus guère employé que dans certains cas particuliers où il est nécessaire d'obtenir une très grande vitesse de rotation [scies circulaires, essoreuses..... etc.], nous croyons devoir appeler de nouveau l'attention sur ce mode d'utilisation de la vapeur, qui permettrait peut-être de construire des machines d'une grande légèreté.

La théorie indique, en effet, qu'il a espoir d'arriver dans cette voie à des résultats importants, car cette catégorie de moteurs correspond, comparée aux moteurs hydrauliques, à ceux qui emploient l'eau en mouvement, comme les turbines, les roues à aubes courbes, tandis que la machine à piston à petite vitesse correspond aux machines hydrauliques dans lesquelles l'eau agit par son poids comme les roues à augets, les machines à colonne d'eau....., etc.

La vitesse du mouvement du fluide est, dans de semblables machines, l'élément important à considérer, celui qui entre comme élément principal dans l'expression du travail possible ; mais la formule $v = \sqrt{2g\frac{P-P}{\pi}}$ qui donne la vitesse d'écoulement des liquides *incompressibles*, ne saurait être appliquée pour le calcul de la vitesse d'écoulement de la vapeur, car elle ne tient pas

compte de la *détente* et l'expression du travail ainsi trouvée serait beaucoup trop faible.

Pour comparer utilement le travail théorique d'une turbine à vapeur au travail d'une machine à piston, il serait donc indispensable de faire usage des formules de la thermodynamique pour le calcul des vitesses d'écoulement de la vapeur sous différentes pressions. On obtiendrait ainsi des vitesses beaucoup plus considérables et, si l'on effectuait tous les calculs que comporte la question, on verrait que le travail théorique que peut donner une turbine à *détente et à condensation* est tout aussi grand que celui de la meilleure des machines à détente et à condensation.

Le cadre de cette brochure ne nous permettant pas de traiter la question à ce point de vue, nous nous bornerons à rappeler ici les études extrêmement intéressantes qui ont été faites vers l'année 1847 par M. Tournaire, ingénieur des mines, en collaboration avec M. Burdin, créateur des turbines hydrauliques.

M. Tournaire a fait connaître les résultats de ses recherches sur les *turbines multiples à réactions successives*, propres à utiliser le travail moteur que développe la chaleur dans les fluides élastiques, par une note envoyée à l'Académie des Sciences [voir le Dictionnaire des Arts et Manufactures.]

Un des ingénieurs les plus hardis et les plus novateurs de notre époque, M. Girard, s'est également occupé de la question, et a essayé d'appliquer à la vapeur le système de *roues-hélices*, de turbines sans directrices, qu'il avait imaginées et construites avec succès pour utiliser le travail moteur d'une rivière à niveau variable.

M. Léon Foucault, grand amirateur du génie inventif de M. Girard, donne les indications suivantes sur ce curieux appareil :



« Quand il s'agit d'utiliser la vitesse d'écoulement d'un gaz, la possibilité de supprimer les directrices ouvre aussitôt une bien plus vaste carrière. Tous les essais qu'on avait faits jusqu'à présent pour réaliser la turbine à air ou à vapeur avaient échoué devant l'impossibilité de faire tourner ces machines assez vite pour récolter une proportion avantageuse d'effet utile. La machine tournant toujours trop lentement, par rapport à la vitesse d'écoulement d'un fluide très léger, il arrivait que celui-ci se réfléchissait sur les aubes presque instantanément, en conservant la plus grande partie de sa vitesse, et s'échappait, emportant avec lui presque toute sa force vive. Il en résultait une perte évidente qui a suggéré la pensée de faire agir le fluide par cascades. Au sortir d'une première couronne d'aubes, le fluide était repris par une seconde rangée de directrices qui le faisait agir sur de nouvelles aubes ; il traversait ainsi successivement dix, vingt, trente systèmes, et il finissait par s'échapper avec une vitesse expirante, après avoir cédé en détail la majeure partie de sa force motrice.

« Théoriquement, cette disposition paraissait très satisfaisante, mais à l'exécution une pareille machine a présenté des difficultés qu'on n'a jamais pu surmonter. Les parties fixes et les parties mobiles, alternant les unes avec les autres, formaient un ensemble compliqué, difficile à construire, et qui laissait échapper le fluide moteur par autant de points qu'il y avait de cascades. M. Girard, en supprimant les directrices, rend le tout solidaire, il fait disparaître tous les joints, il bénéficie du principe des cascades sans en subir les inconvénients. Dans la machine qu'il a imaginée, le fluide moteur, gaz ou vapeur arrivant par le centre, agit sur une première couronne d'aubes courbes, évasées suivant le nouveau système ; de là le fluide se répand dans une rigole circulaire sans aubes ;

plus loin se trouve une nouvelle couronne d'aubes, puis une nouvelle rigole, et ainsi de suite, autant qu'il en faut pour éteindre la totalité de la force vive. Tous ces espaces, alternativement pourvus et dépourvus d'aubes, sont disposés concentriquement les uns aux autres, et leurs hauteurs, considérées dans le sens où le fluide progresse varient périodiquement de manière à croître dans les zones garnies d'aubes et à décroître dans celles qui en sont dépourvues. Leur ensemble est compris entre deux plateaux qui tournent tout d'une pièce avec les couronnes d'aubes sous l'impulsion du fluide moteur. La machine, agissant par cascade, n'est pas obligée, pour fonctionner utilement, de prendre des vitesses impossibles; néanmoins elle tourne avec une grande rapidité; mais dès que cette vitesse cesse d'être menaçante, dès qu'elle rentre dans les limites accessibles à la pratique, elle devient précieuse et elle assure au moteur une puissance extraordinaire. M. Girard a calculé qu'une turbine à vapeur de cinquante centimètres de diamètre, marchant sous une pression de quatre ou cinq atmosphères à raison de cent tours par seconde, ne rendra pas moins de deux cents chevaux de force.

« L'emploi de ce nouveau moteur n'exclut pas l'adjonction du condenseur, complément ordinaire des machines à vapeur; mais si le service se fait comme de coutume, par la pompe à air, on trouve que l'accessoire l'emporte de beaucoup sur le principal en poids ou en dimension; aussi M. Girard a-t-il songé à opérer l'épuisement des eaux de condensation au moyen d'un appareil analogue, pour proportions et pour la manière d'agir, au moteur lui-même. Appliquant le principe des cascades au ventilateur à force centrifuge, il arrive à former un aspirateur qui, mis en mouvement par la turbine, épuise le condenseur d'une manière continue. L'agencement des



parties forme alors un système tellement réduit, qu'une machine de vingt chevaux est représentée en grandeur naturelle sur une feuille de papier à écolier. L'exécution en revient de droit au constructeur d'instruments de précision, et l'inventeur prétend l'emporter sous son bras. Il va sans dire que la réduction de prix sera du même ordre que la réduction de volume. »

« Malgré les espérances de succès contenues dans l'intéressant article que nous venons de citer, la roue-hélice de M. Girard, qui avait si bien réussi comme moteur hydraulique, n'a pas donné encore de résultats publics comme appareil à vapeur. Il y a sur la manière d'agir de la vapeur dans cet appareil une observation importante à faire. L'accroissement de volume qui se produit en passant d'une série de palettes à la série suivante produit une diminution subite de pression de la vapeur, qui n'est pas utilisée, et par suite une perte notable si le nombre des turbines n'est pas très grand, ce qui n'est pas possible pratiquement, puisque leur dimension allant en croissant, il faudrait donner aux plus grandes une vitesse bien moindre que celle que l'on peut donner aux plus petites. Or, c'est dans la possibilité de donner une énorme vitesse par un parfait équilibrement des poids, une excellente lubrification du pivot, que réside la chance de succès de cet appareil toujours un peu délicat pour la pratique industrielle, presque autant que de la bonne circulation de la vapeur. »

« De ce qui précède, on peut admettre avec quelque probabilité que sans faire concurrence aux puissantes machines à vapeur pour produire de très grandes quantités de travail, un système fondé sur des principes analogues à ceux qui viennent d'être exposés pourrait donner des résultats dynamiques assez passables pour que son emploi puisse se faire dans l'industrie, dans quelques cas

exceptionnels où il est nécessaire d'obtenir des vitesses extrêmement considérables. » — C'est précisément le cas de l'hélice aérienne, et, bien que l'appareil théorique que nous allons décrire n'ait pas encore été exécuté, nous pensons qu'une turbine à vapeur construite sur ces données pourrait peut-être fournir de bons résultats comme moteur aérostatique.

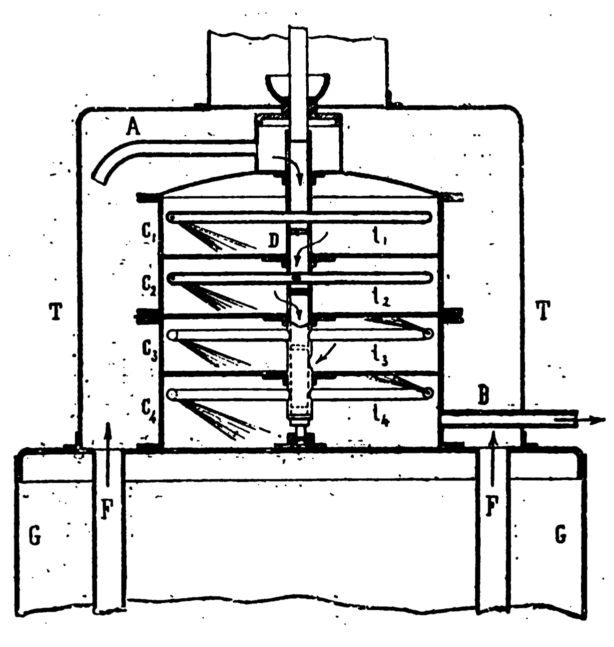


Fig. 19.

LÉGENDE

A. — Entrée de la vapeur dans la turbine.

D. — Arbre creux cloisonné dans lequel circule la vapeur pour se rendre successivement dans chacun des compartiments C_1 C_2 C_3 C_4, ainsi que l'indiquent les flèches du dessin.

t_1 t_2 t_3 t_4. — Tuyaux à réaction branchés sur l'arbre moteur D.

B. — Sortie de la vapeur qui peut s'échapper librement dans l'atmosphère ou se rendre au condenseur.

G. — Chaudière.

F, F,.... — Tuyaux amenant les gaz brûlés dans la boîte à fumée T qui entoure complètement la turbine, afin d'éviter les pertes de chaleur et la condensation partielle de la vapeur motrice.



Le principe de l'appareil dont nous proposerions la construction est le même que celui des tourniquets à vapeur importés d'Amérique il y a quelques années, avec cette différence, toutefois, que la vapeur agit par réactions successives dans une série de compartiments C_1 C_2 C_3 C_4 ... (fig. 19).

Pour simplifier la description de l'appareil nous avons omis à dessein de représenter la forme particulière qu'il conviendrait de donner aux tuyaux à réaction, ainsi que les dispositions qui devraient être prises en vue de diminuer les frottements et la résistance opposée par le fluide au mouvement de rotation des tubes t_1 t_2 ...

— Pour se rendre compte de l'augmentation de travail que peut donner ce système de détentes successives, il suffit d'appliquer la formule :

$$T = P \frac{V^2}{2g}$$

et d'additionner les travaux donnés par chacun des tubes à réaction t_1 t_2 .... sous différentes pressions, correspondantes à des vitesses de sortie à peu près égales.

En calculant les vitesses d'écoulement du fluide au moyen de la formule des liquides incompressibles,

$$V = \sqrt{2g \frac{P - P}{\pi}}$$

on arrive à cette conclusion que la somme des travaux partiels ainsi obtenus se rapproche d'autant plus du travail théorique maximum que le nombre des compartiments est plus élevé. C'est là un résultat extrêmement important qui prouve que le rendement théorique des turbines à vapeur peut être comparé à celui des meilleures machines à détente et à condensation employées dans l'industrie.

Le rendement maximum de chacun des tubes à réac-

tion correspondra évidemment au cas où la vitesse d'échappement de la vapeur sera égale à la vitesse prise par les orifices d'écoulement, et nous montrerons plus loin que cette condition peut être assez facilement réalisée, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un nombre de tours par trop considérable, dépassant par exemple celui des essoreuses ou des machines électriques.

Condensation. — Avantage qu'il y aurait à remplacer la vapeur d'eau par celle des hydrocarbures liquides. — Emploi de l'air ou de l'acide carbonique comprimé.

La solution du problème du vol mécanique dépendant surtout de la possibilité de réduire l'approvisionnement en eau et combustible, il y a lieu d'examiner si la condensation de la vapeur d'échappement ne pourrait pas être obtenue par la seule action réfrigérante de l'air.

Cette action étant proportionnelle à l'excès de la température de la vapeur d'échappement sur celle de l'air ambiant, il y aurait évidemment intérêt à remplacer la vapeur d'eau par celle d'un liquide pouvant se condenser à une température supérieure à 100° ; ce qui constitue en quelque sorte la solution inverse, et non pas la plus mauvaise, du problème que s'était proposé autrefois M. du Tremblay avec ses machines à éther et à chloroforme.

Les hydrocarbures dont la vapeur pourrait remplacer celle de l'eau sont assez nombreux et leur choix dépendrait surtout de la facilité avec laquelle se ferait l'ébullition dans la chaudière.

L'essence de térébenthine bien rectifiée, le térébenthène



ou, préférablement encore, le térébène [d = 0,8767], conviendraient assez bien, car ces liquides sont très fluides à la température ordinaire et résistent parfaitement à l'action d'une chaleur de 300° longtemps soutenue, surtout lorsqu'ils sont à l'abri de l'oxygène de l'air. Ils entrent en ébullition vers 156°, ne se congèlent qu'à très basse température, et donnent une vapeur dont la densité est de 4,764, soit 7,86 fois celle de la vapeur d'eau à la pression atmosphérique, ce qui est une circonstance très-favorable non-seulement au point de vue de la réduction des fuites, mais encore à celui du bon fonctionnement des turbines à vapeur, si l'on adoptait ce genre de machine pour la mise en mouvement de l'hélice aérienne.

Les huiles minérales de schiste ou de naphte, connues dans le commerce sous le nom d'oléonaphtes pourraient également servir, car leur point d'ébullition varie de 150 à 200° ; mais il est à craindre que leur ébullition ne soit pas aussi régulière que celle de la térébenthine.

Le pétrolène, liquide huileux, légèrement jaune, d'une densité de 0,891 à 21°, ne se solidifiant pas à — 12° et bouillant à 280°, permettrait d'augmenter encore la température de la vaporisation et présenterait en outre l'avantage de donner une vapeur dont la densité serait environ ***deux fois plus grande*** que celle de la térébenthine.

En dehors des hydrocarbures, nous ne voyons guère que le mercure qui réunisse à peu près les conditions requises ; et, s'il était possible de se mettre à l'abri de l'action toxique de sa vapeur, son emploi présenterait de sérieux avantages au point de vue de la réduction du poids de la chaudière et du condenseur. Ce métal dont la densité est de 13,59 et la chaleur spécifique de 0,03247, bout en effet à 360° en donnant une vapeur dont

la densité a été trouvée égale à 6,976 par M. Dumas, soit environ 11 fois 1/2 celle de la vapeur d'eau.

La présence de la vapeur d'eau facilite beaucoup la vaporisation du mercure dont la tension de vapeur en millimètres de mercure est, d'après Regnault de 797 m/m à 350°, de 1587 m/m à 400°, de 2177 m/m à 420° et de 3384 m/m ou environ 5 atmosphères à 450°. Bien que le mercure soit le moins conducteur des métaux, sa conductibilité calorifique, [53,3] est très supérieure à celle de l'eau et des autres liquides, ce qui conduit à penser que la chaleur développée dans le foyer d'une chaudière à mercure serait très facilement absorbée sans qu'il soit besoin de recourir à une surface de chauffe aussi grande que celle des chaudières ordinaires (1).

La formule :

$$V = \sqrt{2 g \frac{P - P'}{\pi}}$$

appliquée à la vapeur de térébenthine, soumise à une pression de 5 atmosphères, donnerait une vitesse de 143 mètres ; tandis que, dans les mêmes conditions, la vitesse d'écoulement de la vapeur d'eau serait d'au moins 517 mètres (2).

En admettant que la turbine ait seulement quatre compartiments, et que les sections des ajutages des tubes

(1) Nous pensons que l'on faciliterait beaucoup l'ébullition du mercure et des liquides en général, en plaçant au milieu de la masse à évaporer un certain nombre de godets renversés remplis d'un gaz inerte; c'est à un procédé de ce genre que nous avions songé, il y a quelques années, pour éviter l'explosion des générateurs.

(2) Les vitesses d'écoulement de la vapeur à 5 atmosphères calculées d'après les formules de la *thermodynamique* seraient, d'après Zeuner, de 745 mètres lorsque la contrepression est de 1 atmosphère et de 1320 mètres lorsqu'elle n'est plus que de 0,006, ce qui montre bien l'intérêt qu'il y aurait à condenser la vapeur d'échappement des turbines pour augmenter la vitesse moyenne d'écoulement dans chacun des compartiments.



à réaction soient calculées de façon à ce que la vapeur s'écoule sous une pression de 2 atmosphères pour le premier compartiment, d'une atmosphère pour le second, et de $\frac{1}{2}$ atmosphère pour les deux derniers, les vitesses d'écoulement d'un compartiment à l'autre seraient de :

101 m., 6	pour le	compartiment	C_1.
92 m., 6	»	»	C_2.
80 m., 3	»	»	C_3.
92 m., 7	»	»	C_4.

soit une vitesse moyenne d'environ 92 mètres par seconde.

La somme des travaux que pourrait fournir 1 k. de vapeur de térébenthine s'écoulant avec cette vitesse dans chacun des quatre compartiments de la turbine serait donc de :

$$\frac{4 \times 92^2}{2\,g} = 1726 \text{ kilogrammètres.}$$

ou 23 chevaux ; tandis que si cette vapeur échappait directement dans l'atmosphère avec la vitesse de 143 mètres qui correspond à une pression de 5 atmosphères, le travail développé ne serait plus que de :

$$\frac{143^2}{19,62} = 1042 \text{ kilogrammètres.}$$

soit environ 14 chevaux.

Cet exemple montre clairement la possibilité d'utiliser une grande partie du travail de détente en multipliant convenablement le nombre des compartiments de la turbine. (1)

L'emploi des turbines serait également tout indiqué si l'on voulait remplacer la vapeur des hydrocarbures

(1) Le travail que pourrait fournir 1 k. de vapeur d'eau à 5 atmosphères serait 10 fois supérieur à celui que nous venons de trouver pour la vapeur de térébenthine ; mais cela ne prouve rien en ce qui concerne la bonne utilisation du calorique, car la chaleur latente de vaporisation de la térébenthine n'est que de 68,71, tandis que celle de la vapeur est de 531. Il importe de remarquer, en outre, que la chaleur spécifique de

par de l'acide carbonique ou de l'air comprimé, dans le but, par exemple, de développer une très grande puissance en dépensant rapidement le travail emmagasiné par la compression (1).

L'emploi de l'air comprimé permettrait en outre de simplifier beaucoup les appareils en supprimant le condenseur et le foyer de la chaudière (2).

---

la térébenthine à l'état liquide (0,4672) et celle de sa vapeur sont sensiblement moindres que pour l'eau.

Le travail produit par une calorie étant à peu près le même pour tous les liquides, que l'on utilise ou non le travail de détente, le seul moyen d'obtenir un bon rendement dans les machines thermiques est de faire en sorte que les changements de température produisent toujours des changements de volume utilisés. Dans le cas actuel, ce qu'il importe surtout d'obtenir, c'est la réduction du poids du combustible brûlé, et non pas celle du poids de la vapeur employée pour obtenir un travail déterminé, car cette vapeur sera condensée et pourra servir par suite indéfiniment.,

(1) Le calcul suivant, que nous empruntons au Dictionnaire de Laboulaye, montre clairement l'inconvénient que présente l'emploi de l'air comprimé et des gaz en général :

« Soit une énorme locomotive à air, dont la chaudière, le réservoir, « ait une capacité de 10 mètres cubes dans lequel l'air soit comprimé à « 10 atmosphères.

« D'après le tableau donné, en admettant une utilisation complète, « quand il serait peut-être difficile d'atteindre 50 %, en supposant en« core que l'on fournisse assez de chaleur à l'air pour que la détente « de l'air se produise à température constante (ce qui revient à ajou« ter une locomotive à feu à la première), le mètre cube d'air ne pro« duit par heure que 0,88 de cheval-vapeur, et les 10 mètres cubes « 8,8. Il ne faudrait donc pas que le travail durât plus de 1/10 d'heure « ou 6 minutes, ou à 50 % 3 minutes, pour que la puissance fût de 88 « chevaux-vapeur *théoriques*, c'est-à-dire la puissance d'une locomo« tive à vapeur.

(2) Pour éviter la *détente frigorifique* du gaz, il conviendrait probablement de chauffer le réservoir d'air comprimé, après avoir pris la précaution d'y verser une quantité d'eau suffisante pour saturer complètement le gaz et éviter les coups de feu. — Le chauffage de cette chaudière d'un nouveau genre serait réglé de façon à ce que la détente se fît sous une température sensiblement constante.

Si nous cherchons maintenant quelle serait la vitesse de rotation de l'arbre d'une turbine dont les tuyaux à réaction auraient un rayon de o m. 30, nous voyons qu'il faudrait lui faire exécuter

$$\frac{92}{2\pi \times 0,30} = 48,8 \text{ tours par seconde}$$

soit 2928 tours par minute pour que la vitesse des ajutages fût à peu près égale à celle de la vapeur de térébenthine; et comme, dans la pratique, la vitesse donnée aux turbines hydrauliques est toujours sensiblement plus petite que celle qui correspond au rendement théorique maximum, il suffirait probablement d'une vitesse moyenne de 2000 tours à la minute pour que le rendement de notre turbine pût être comparé à celui des moteurs hydrauliques (1).

Une telle vitesse de rotation n'aurait rien d'exagéré, car si nous nous en rapportons au Dictionnaire de Laboulaye, nous voyons que M. Fourneyron a établi à Saint-Blaise, dans la Forêt-Noire, une turbine de 40 chevaux mise en mouvement par une chute de 108 mètres de hauteur et faisant 2300 tours par minute. Le diamètre de cette turbine n'était que de o m. 55 et elle utilisait les 0,75 de la force de la chute, ce qui est un rendement excellent.

— Dans ce qui précède, nous avons supposé que la

(1) D'après Claudel, le rendement des turbines Jonval dépasse 70 %, et la vitesse à l'extérieure de la roue, correspondant au maximum d'effet, paraît devoir être les 0,70 de la vitesse $\sqrt{2gH}$ due à la chute totale H, et pouvoir varier de 1/4 en plus ou en moins sans que le rendement soit sensiblement diminué.

Les turbines Fontaine ont un rendement de 0,68 à 0,70 et la vitesse à la circonférence moyenne de la roue, correspondant au maximum d'effet, est les 0,55 de la vitesse due à la hauteur de chute, et elle peut varier également de son 1/4 en plus ou en moins, sans que l'effet soit sensiblement diminué.

vapeur s'échappait librement dans l'atmosphère après avoir parcouru les divers compartiments de la turbine, mais il est bien évident que si l'on faisait usage de la condensation, la vitesse moyenne de la vapeur serait beaucoup plus considérable, et le travail qui pourrait être recueilli dans ces conditions serait en tout point comparable à celui des meilleures machines à détente et à condensation employées dans l'industrie.

— Nous terminerons ces quelques indications en disant que rien ne s'opposerait à ce que le chauffage de la chaudière se fît au moyen du liquide même qu'il s'agit d'évaporer. Les hydrocarbures sont, en effet, d'excellents combustibles, et il suffirait pour réaliser ce système de chauffage de se servir d'un pulvérisateur analogue à ceux dont on fait usage en Russie et en Amérique pour le chauffage des locomotives et des bateaux à vapeur.

Chauffage direct de l'air et des gaz comprimés.

Le chauffage des réservoirs d'air comprimé au moyen d'un foyer extérieur analogue à celui des chaudières étant assez difficile à réaliser pratiquement, il y a lieu de se demander s'il ne serait pas possible de remédier aux pertes de pression dues à l'abaissement de la température des gaz, au fur et à mesure que la détente se produit.

La détente frigorifique, telle qu'elle se produit dans les applications où le réchauffement très rapide du gaz est impossible à obtenir, équivaut en effet à une perte de travail égale, en moyenne, à la *moitié* du travail de détente qu'on pourrait obtenir si la température du fluide restait constante. On conçoit dès lors tout l'intérêt qu'il

y aurait à réchauffer les gaz comprimés pendant le fonctionnement de la machine, en utilisant à cet effet la chaleur dégagée par la combustion ou la décomposition rapide de certaines préparations chimiques, placées à l'intérieur même du réservoir.

La poudre, le fulmi-coton, et tous les explosifs en général permettent de résoudre la question, à la condition cependant que leur introduction dans le réservoir d'air comprimé se fasse par petites fractions, que leur décomposition soit suffisamment lente, et qu'ils n'encrassent pas trop la machine motrice (1).

(1) L'idée d'employer la force motrice des matières explosives a été émise plusieurs fois et un certain nombre d'expériences ont même été faites à ce sujet. — Nous lisons, en effet, dans l'ouvrage de M. G. Tissandier sur la *Navigation aérienne* qu'en 1842, d'après M. Pettigrew, M. Philipps (aviateur anglais) réussit à élever par ce moyen un hélicoptère en métal du poids de 2 livres.

« Cet appareil, dit M. Tissandier, consistait en un bouilleur ou générateur de vapeur et quatre palettes soutenues par huit bras. Les palettes étaient inclinées sur l'horizon de 20 degrés ; à travers les *bras s'échappait de la vapeur* d'après le principe découvert par Héron, d'Alexandrie. La sortie de la vapeur faisait tourner les palettes avec une énergie considérable. Il paraît, si l'on en croit certains récits du temps, que le modèle s'éleva à une très grande hauteur, et traversa deux champs avant de toucher terre. La force motrice employée était obtenue par la combustion d'un *charbon mêlé de salpêtre*. Les produits de la combustion se mêlant à l'eau de la chaudière sortaient à haute pression de l'extrémité des huit bras. »

Le succès de cette expérience justifierait entièrement notre manière de voir au sujet de la grande vitesse qu'il convient de donner à l'hélice aérienne, et nous rappellerons à ce propos que nous avions proposé en 1880 l'emploi d'un simple tourniquet à vapeur muni d'une surface héliçoïdale, disposition à laquelle nous avons d'ailleurs renoncé pour différentes raisons.

L'extrême simplicité des *hélices à réaction* mériterait cependant d'attirer l'attention des *aviateurs,* car l'emploi de *l'air comprimé* dont la densité est environ deux fois plus grande que celle de la vapeur permettrait de réduire beaucoup le nombre de tours de l'hélice qui correspond au rendement maximum, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

— Nous citerons encore, toujours d'après M. Tissandier, l'Aéroscaphe

Rien ne s'opposerait, par exemple, à ce que ces corps, dont l'allumage se ferait par l'étincelle électrique, fussent introduits dans le réservoir sous forme de fusées ou par la rotation d'un robinet convenablement disposé.

Les matières explosives ne font, à proprement parler, explosion, que lorsqu'elles se trouvent renfermées dans une capacité très-étroite ; dans le cas contraire, elles fusent simplement sans occasionner d'autre effet qu'un grand dégagement de gaz et de chaleur, de sorte qu'il y

de M. de Louvrié, dans lequel il devait y avoir une hélice de propulsion, ou un moteur à mélange détonant produisant une réaction sur l'air.

M. du Hauvel a proposé également, dans l'*Aéronaute* de juin 1886, l'emploi d'un hélicoptère mis en mouvement par la réaction déterminée par les produits de la combustion d'une certaine quantité de fulmi-coton emmagasinée dans les nervures de l'hélice.

— Il est à remarquer que les appareils à réaction, dont le type est la *fusée*, n'exigent pas de *point d'appui* et qu'ils peuvent, par suite, être employés pour se diriger dans une atmosphère très raréfiée ou même dans le vide absolu.

Le fameux boulet que M. Jules Verne suppose, dans un de ses romans, avoir été lancé sur la Lune au moyen d'un canon monstre, se trouvait donc fort judicieusement muni d'un certain nombre de fusées, de façon à ce que les voyageurs pussent rectifier au besoin la marche de leur projectile à travers les espaces inter-planétaires. Sans vouloir discuter ici le projet du célèbre écrivain, nous dirons qu'au point de vue purement théorique, il eût peut-être été préférable de se servir également d'une fusée pour faire franchir au boulet la zone d'attraction terrestre. — De plus, il eût été rationnel de chercher à éviter la résistance énorme que l'air oppose au mouvement des corps animés d'une grande vitesse en élevant l'appareil jusqu'aux confins de l'atmosphère au moyen, par exemple, d'un immense ballon annulaire rempli d'hydrogène pur. Le ballon ayant atteint son altitude maxima, on aurait communiqué au boulet, par un simple jet de lest, une force vive capable de contrebalancer l'action de la pesanteur, et les voyageurs se seraient lancé eux-mêmes dans l'espace en mettant le feu à une fusée colossale placée à la partie inférieure du boulet. — Sous l'impulsion du fluide s'échappant dans le *vide*, le projectile aurait atteint, en quelques instants, une vitesse prodigieuse, comparable à celle des corps célestes, et largement suffisante pour vaincre l'attraction terrestre. — Enfin, comme il faut tout prévoir, même dans le domaine de la fantaisie, un parachute, disposé de manière à pouvoir s'ouvrir de lui-même, aurait rassuré les voyageurs sur les conséquences probables d'une chute de plusieurs milliers de kilomètres.

a tout lieu de croire que si l'introduction de ces matières se faisait par petite quantité à la fois, l'ébranlement de la masse gazeuse renfermée dans le réservoir serait insuffisant pour amener la rupture des parois. S'il en était autrement, on pourrait se mettre à l'abri des explosions possibles, en retardant la décomposition au moyen d'une compression préalable ou par l'adjonction de certaines matières.

— Piobert a reconnu, en effet, que la poudre en grains mélangée avec le tiers de son poids d'une autre matière pulvérisée brûle avec une vitesse très réduite, et a proposé de conserver la poudre en magasin en la mélangeant avec un poids égal de poussier de charbon, de soufre ou de salpêtre trituré. Un simple tamisage permettait de retrouver la poudre en grains avec ses propriétés explosives.

Fadeieff a fait voir que la poudre mélangée avec le tiers de son poids d'un mélange de parties égales de bois et de graphite s'enflamme difficilement, même avec une lance à feu ; et que la flamme peut être éteinte au moyen de l'eau.

Gale a proposé l'emploi du verre pulvérisé très-fin qui, ajouté à la poudre dans la proportion de 1 à 4 parties, ne lui laisse que la propriété de fuser ou la rend même complètement incombustible.

— Le fulmi-coton convenablement préparé nous semble préférable à la poudre, en ce sens qu'il encrasse moins et dégage une plus grande quantité de chaleur quand il se trouve mêlé avec un corps oxydant tel que le chlorate ou l'azotate de potasse. D'après les expériences d'Abel, la pyroxyline réduite en fils ou mèches tordues et placées sur une plaque en métal *bonne conductrice*, brûle lentement et presque sans flamme, en répandant une odeur

nitreuse, lorsqu'on la touche avec un charbon rouge à une extrémité. Dans *l'acide carbonique*, l'oxyde de carbone, l'hydrogène, le gaz d'éclairage, l'azote, la décomposition ne présente jamais que la lueur jaunâtre, et les deux derniers gaz ont une grande tendance à *arrêter* la combustion.

— M. Abel a préconisé également, depuis quelques années, l'emploi du fulmi-coton sous une nouvelle forme. En le faisant passer dans une pile à papier on le réduit en pâte qu'on lave à fond et qu'on soumet à l'action de la presse hydraulique. La masse, qu'on peut mouler sous diverses formes, est très dure et susceptible d'être travaillée au tour. Dans cet état, le fulmi-coton brûle *lentement* à l'air libre ; il ne détone que sous l'influence d'une capsule fulminante.

— Les propriétés des explosifs que nous venons de rappeler brièvement montrent que leur utilisation en *tant que combustibles* n'est pas aussi absurde qu'on serait tenté de le croire, et qu'on pourrait, à la rigueur, s'en servir pour le chauffage des gaz comprimés.

— Si nous cherchons maintenant le travail mécanique que peut produire un mètre cube d'air comprimé à 100 atmosphères, en supposant que le fluide se détende sous une température constante, nous trouvons en appliquant la formule connue :

$$T = PV \log. \text{hyp}. \frac{V_1}{V}$$

qui se déduit de la loi de Mariotte :

$$P = 100 \times 10333 \log. \text{hyp}. 100$$

et par suite :

$$T = 4758522 \text{ kilogrammètres.}$$

Le cheval vapeur développant 75 × 3600 = 270000 kgm. à l'heure, un mètre cube d'air à 100 atmosphères produira *en 1 heure*, en agissant uniformément, un travail de

$$\frac{4758522}{270.000} = 17 \text{ chev. } 624$$

correspondant à la disparition d'une quantité de chaleur égale à environ :

$$\frac{4758522}{425} = 112000 \text{ calories},$$

en admettant que l'équivalent mécanique de la chaleur ou le travail que peut fournir une calorie soit égal à 425.

Il en résulte que pour que la température de l'air comprimé ne s'abaisse pas pendant le fonctionnement de la machine, il faudra faire brûler progressivement à l'intérieur du réservoir :

$$\frac{11.200}{753} = 14 \text{ ks } 86$$

de poudre à canon, ou :

$$\frac{11.200}{1056} = 10 \text{ ks } 60$$

de coton-poudre, puisque le nombre de calories dégagées par la combustion est égal à 753 pour la poudre de guerre et à 1056 pour le coton-poudre [expériences de Roux et Sarrau]. — Le volume des gaz produits, soit environ 260 litres par kilogramme de poudre, et 720 pour le coton-poudre, s'ajouterait au volume des gaz et contribuerait encore à prolonger le temps pendant lequel la machine pourrait fonctionner.

En admettant que le poids du réservoir métallique augmenté de celui de l'hélice et de la machine fût seulement de 800 ks, et celui de l'air comprimé à 100 atmosphères de 130 ks, on voit [en négligeant le travail des gaz dégagés pendant la combustion] que si l'ensemble de l'hélice et de la machine pouvait produire un travail utile égal à *la moitié* du travail théorique dû à la détente, il

serait possible d'enlever avec une vitesse d'un mètre à la seconde un poids supplémentaire de :

$$17,624 \times 75 - 800 - 130 = 372 \text{ kilogr.}$$

pendant une *demi-heure* en brûlant seulement 10 ks 60 de coton-poudre.

— Certaines matières explosives pourraient donc fournir le moyen de chauffer *rapidement* les réservoirs de gaz comprimé, et si l'on faisait usage d'un gaz inerte comme l'acide carbonique, leur emploi serait pour ainsi dire obligatoire. Mais si l'on faisait simplement usage de *l'air comprimé*, nous pensons qu'il vaudrait beaucoup mieux se servir d'*un gaz combustible* renfermé dans un petit récipient mis en communication avec un brûleur placé au milieu du réservoir.

La combustion d'un mètre cube d'hydrogène produisant 3085 calories, il suffirait de brûler environ :

$$\frac{11200}{3085} = 3,63 \text{ mètres cubes d'hydrogène,}$$

pour que la détente de l'air comprimé pût se faire sous une température constante ; la capacité du récipient contenant le gaz hydrogène, soumis à une pression de 100 atmosphères, serait seulement de 36 litres, soit $\frac{1}{30}$ du volume occupé par l'air comprimé. La quantité d'oxygène nécessaire à la combustion serait, d'ailleurs, aisément fournie par le fluide à échauffer, puisque la combustion complète de 3 m. c. 63 d'hydrogène n'exigerait que $3,63 \times 2,403 = 8$ m. c. 723 d'air, à prélever sur les 100 mètres cubes contenus dans le réservoir.

L'allumage se ferait au moyen de l'étincelle électrique, et il est facile de voir que si la capacité du petit réservoir à hydrogène était convenablement calculée, la combustion *se réglerait d'elle-même*, au fur et à mesure que la détente se produirait dans le grand réservoir, circon-

stance très favorable au point de vue de la régularité du chauffage.

— La combustion d'un mètre cube de gaz d'éclairage ordinaire dégageant au moins deux fois plus de chaleur que la combustion d'un mètre cube d'hydrogène, l'emploi du gaz d'éclairage permettrait de réduire de moitié la capacité réservée au gaz ; mais comme la combustion ne se ferait plus alors d'une façon aussi complète, qu'avec l'hydrogène pur, il conviendrait de faire usage d'un brûleur spécial et d'étudier préalablement les conditions dans lesquelles s'effectue la combustion des gaz sous différentes pressions, afin de voir s'il n'y aurait pas lieu d'augmenter, par exemple, la proportion d'oxygène contenue dans l'air comprimé.

M. Cailletet, en examinant la manière dont la flamme des bougies se comportait sous des pressions de 30 à 35 atmosphères, a reconnu en effet que la flamme augmente d'abord en clarté, mais qu'elle change bientôt d'aspect et développe une forte fumée.

— Les chiffres que nous venons d'établir ne sauraient, bien entendu, être considérés comme étant d'une grande exactitude, et il faudrait leur faire subir d'importantes corrections si l'on voulait tenir compte de tous les éléments de la question ; mais ils suffisent néanmoins pour démontrer la possibilité d'éviter les pertes de travail dues au refroidissement des gaz qui se détendent. A ce dernier point de vue, il nous paraît que le chauffage direct de l'air comprimé, par l'un des moyens que nous venons d'indiquer, serait une excellente innovation pouvant donner lieu à un grand nombre d'applications industrielles.

CONCLUSION

Bien que la science contemporaine ait résolu, en se jouant, des problèmes bien autrement difficiles que celui de la navigation aérienne, le scepticisme est resté à peu près universel, et les personnes instruites qui veulent bien admettre aujourd'hui la possibilité de diriger les aérostats, ne manquent jamais de dire en haussant légèrement les épaules : A quoi cela pourrait-il servir ? — Laissez faire, répondait il y a un siècle l'illustre Franklin, c'est un enfant au berceau.....

L'enfant, il faut le reconnaître, met bien des années à grandir, et, malgré les belles expériences qui ont été faites récemment, il semble quelque peu téméraire d'affirmer que les aérostats dirigeables puissent jamais servir à autre chose qu'à l'art militaire et aux excursions scientifiques dans l'atmosphère. Mais, si l'on allait au fond des choses, on verrait que l'idée d'utiliser les aérostats pour le transport des marchandises et des voyageurs n'est pas aussi absurde qu'elle le paraît au premier abord ; et il nous serait facile de prouver, chiffres en main, que les transports effectués par ce moyen ne reviendraient pas beaucoup plus cher qu'avec le tarif actuel des chemins de fer, pour peu que l'aérostat eût un volume suffisant.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que la force ascensionnelle *utilisable* augmente très rapidement avec le volume des ballons, et qu'un aérostat de 100,000 mètres

cûbes représente une force ascensionnelle de 120,000 kilogrammes, dont les $\frac{2}{3}$, soit 80,000 ks, pourraient être utilisés pour le transport des marchandises, à la condition cependant de ne pas s'élever à une altitude trop élevée.

Comparé à celui du ballon captif de l'Exposition de 1878, le diamètre d'un pareil aérostat serait de 57 m. 60 au lieu de 38 mètres, et il est probable que si la mort n'était venue surprendre M. Giffard, nous pourrions admirer actuellement ce colosse des airs, car le célèbre ingénieur disait, à qui voulait l'entendre, qu'il se proposait de donner ces proportions gigantesques au ballon captif de la prochaine Exposition.

Un aérostat de cette taille permettrait de transporter des charges presque égales à celles d'un train de marchandises, et si l'on pouvait utiliser des courants aériens possédant à peu près la direction voulue, les transports par ballon s'effectueraient dans d'excellentes conditions économiques.

Les lois qui régissent les mouvements de l'atmosphère commençant à être assez bien connues, et le prix du gaz hydrogène, obtenu industriellement, étant très inférieur à celui du gaz d'éclairage, il est donc permis de penser que les aérostats pourraient, dans certaines circonstances, servir avec avantage au transport des hommes et des marchandises; mais s'il est vrai, comme on l'a dit, que les sottises les plus vieilles sont aussi les plus difficiles à détruire, il ne faut pas s'attendre à faire accepter cette idée sans beaucoup d'efforts et de peines, car voici près d'un siècle que la plupart de nos savants soutiennent, dans leurs écrits, qu'il n'y a rien à chercher dans cette voie, que la direction des aérostats est une chimère, et, qu'en admettant que ce problème fût résolu, les transports effectués par la voie aérienne coûteraient pour

le moins mille fois plus cher que par bateau ou chemin de fer !

L'avenir se chargera de réduire ces prédictions à leur juste valeur et de faire connaître les conséquences qui pourront résulter de la découverte de la direction des ballons ; mais, sans vouloir préjuger la question, on peut dire, dès à présent, que l'emploi des aérostats dirigeables est tout indiqué pour les voyages d'agrément, les reconnaissances militaires, la photographie et la télégraphie optique, le transport des lettres en cas de guerre, les expéditions scientifiques dans les contrées encore inexplorées, les études météorologiques et les observations astronomiques ; ce qui constitue déjà un domaine assez vaste pour attirer l'attention des peuples civilisés.

Quant aux appareils plus lourds que l'air, nous ne pensons pas qu'ils soient, de longtemps encore, appelés à faire concurrence aux ballons dirigeables, en ce qui concerne les applications ci-dessus mentionnées ; mais nous ne serions pas étonné, cependant, de les voir préférer aux aérostats lorsqu'il s'agira d'effectuer rapidement entre deux stations, des voyages de très courte durée ; l'hélice et l'air comprimé fourniront très probablement le moyen de résoudre ce cas particulier de la navigation aérienne.

Nous terminerons ces quelques réflexions en rappelant le passage suivant de l'admirable *Discours de Descartes sur la Méthode*, passage que nous livrons aux méditations des inventeurs et des savants :

« Il faut, dit-il dans la *règle II*, nous occuper seulement des objets dont notre esprit paraît capable d'acquérir une connaissance certaine et indubitable.

« Toute science est une connaissance certaine et évi-

dente ; l'homme qui doute beaucoup n'est pas plus savant que celui qui n'a jamais pensé ; et même je le regarde comme moins savant s'il s'est formé de fausses idées sur certaines choses.

« Il vaut donc mieux ne jamais étudier que de s'occuper d'objets tellement difficiles que, ne pouvant distinguer le vrai du faux, on soit obligé d'admettre pour certain ce qui est douteux, puisque dans cette étude on doit moins espérer d'augmenter son savoir que craindre de le diminuer. Nous rejetons donc, par cette règle, toutes les connaissances qui ne sont que probables, et nous posons en principe qu'on ne doit se fier qu'à celles qui sont certaines, et dont on ne peut douter.

« Les savants se persuadent peut-être que ces connaissances sont fort rares, et cela parce que, suivant un travers commun à l'esprit humain, il les ont négligées comme trop faciles et à la portée de tout le monde. Cependant, nous les avertissons qu'elles sont en bien plus grand nombre qu'ils ne le pensent, et qu'elles suffisent pour démontrer solidement une foule de propositions sur lesquelles ils n'ont pu jusqu'à présent émettre que des opinions probables ; opinions que bientôt, pensant qu'il était indigne d'un savant d'avouer qu'il ignore quelque chose, ils se sont habitués à parer de *fausses raisons*, si bien qu'ils ont fini par se les persuader à eux-mêmes, et qu'ils les ont données pour vraies.

« Mais si nous observons cette règle, il y aura bien peu de choses à l'étude desquelles nous ne puissions nous livrer ; car à peine, dans les sciences, est-il une seule question qui n'ait souvent divisé les hommes d'esprit. Or, toutes les fois que deux hommes sont d'un avis contraire sur la même chose, à coup sûr l'un ou l'autre se trompe ; bien plus, aucun d'eux ne me semble posséder la vérité ; car si les raisons de l'un étaient *certaines*

et évidentes, il pourrait les exposer à l'autre de telle manière qu'il finirait par le convaincre également....... »

— Espérons que les raisons que nous venons d'exposer sont bonnes, et que tout le monde sera bientôt d'accord sur l'intérêt et sur l'avenir que présente la navigation aérienne ; c'est notre vœu le plus sincère.

TABLE DES MATIÈRES

—

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

CHAPITRE IX.

CHAPITRE X.

CLERMONT-OISE. — IMPRIMERIE DAIX FRÈRES, 3, PLACE SAINT-ANDRÉ.

Clermont-Oise. — Imprimerie DAIX frères, 3, place Saint-André.





